



**Joana Filipa  
Alves Martins**

**Análise e Caracterização de Incêndios Florestais no  
Concelho de Albergaria-a-Velha**



**Joana Filipa Alves  
Martins**

**Análise e Caracterização de Incêndios Florestais no  
Concelho de Albergaria-a-Velha**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Isabel Miranda, Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e co-orientação da Doutora Anabela Carvalho do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro.

*“O passado é o passado já morreu  
Grande é o futuro por nascer  
Nenhum fruto maduro prometeu  
O que a semente pode prometer”*

Miguel Torga

## **o júri**

presidente

**Professor Doutor Carlos Alberto Diogo Soares Borrego**  
Professor Catedrático do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

vogais

**Professora Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda**  
Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Doutora Anabela Victorino Carvalho**  
Colaboradora do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor Domingos Xavier Viegas**  
Professor Catedrático da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer ao Comandante José Bismark, o seu espírito crítico e incentivo para desafios, porque foram eles que me impulsionaram para a realização deste trabalho.

À professora Ana Isabel Miranda por ter aceitado coordenar este trabalho e me ter proporcionado uma aprendizagem científica e desenvolvimento pessoal ao longo deste ano.

À Anabela Carvalho pela grande paciência e disponibilidade para resolução das minhas “angústias” científicas.

Aos elementos do GEMAC e ao Projecto FUMEXP pela disponibilidade, e ajuda prestada nas diferentes etapas.

Ao Sérgio Bento do IDAD pela preciosa solução e pelas dicas que me possibilitaram encontrar outras soluções.

Ao Instituto Geográfico Português pela cedência da informação cartográfica.

Aos meus pais pelo voto de confiança depositado e pela capacidade de relativizar os meus problemas e transformá-los apenas em pequenas contrariedades.

Ao Vítor pelas longas horas de Skype sempre cheias de incentivo e crédito pelo meu trabalho.

À Marta por ter uma irmã “expert” em incêndios e por lanchar comigo todas as vezes quanto as possíveis. E à irmã, Joana Santos pela ajuda certa na altura certa.

A todos os amigos, porque sim!

A todos o meu muito obrigado!

## **palavras-chave**

Incêndios florestais, incêndios recorrentes, incêndio cíclico, índice meteorológico de risco de incêndio, modelação do comportamento do fogo.

## **resumo**

O número de incêndios florestais tem vindo a aumentar nas últimas duas décadas, em Portugal, acompanhando a tendência dos países europeus, especialmente do Sul da Europa. Por outro lado, as estatísticas apontam para o aumento do número de grandes incêndios. O concelho de Albergaria-a-Velha regista um elevado número de ocorrências de incêndios para o mesmo período, nem sempre acompanhado do crescimento da área ardida.

O objectivo principal foi caracterizar e analisar os incêndios recorrentes e cíclicos do concelho de Albergaria-a-Velha e avaliar a adequabilidade do índice meteorológico de risco para a previsão deste tipo de incêndios. Nesse sentido, o trabalho incidiu no estudo do risco de incêndio, através da análise do índice Fire Weather Index (FWI) e na análise do comportamento de fogo através da aplicação do modelo de progressão de fogo, FARSITE.

Os resultados deste trabalho demonstraram que o número de ocorrências está associado ao incêndio recorrente. Este tipo de incêndios tem pequenas dimensões e não estão associados a fenómenos meteorológicos particulares, caracterizando o regime de fogo da região de estudo. Foram detectados dois incêndios com características de incêndio cíclico, relacionados com a ocorrência de condições meteorológicas extremas. O índice FWI revelou-se adequado apenas para a detecção dos incêndios cíclicos.

Este trabalho contribuiu para realçar a vulnerabilidade de algumas regiões de Portugal aos incêndios florestais bem como a necessidade de continuar a desenvolver meios expeditos de prevenção e combate dos mesmos.

**keywords**

Forest fires, recurrent fires, cyclic fire, fire weather risk, fire behaviour modelling.

**abstract**

Forest fire occurrences have been increasing in the last two decades in Portugal, following the trend of other European countries, especially in Southern Europe. Furthermore, the statistics point to the increasing number of large fires. Albergaria-a-Velha registers a high number of fires occurrence for the same period, not always followed by an increase in area burned.

The main goal was to characterize and analyze recurrent and cyclic fires at Albergaria-a-Velha and understand the suitability of fire weather risk index (FWI) to the prediction of this type of fires. In this sense, the work has focused in the study of FWI analysis and fire behaviour analysis through the application of the fire behaviour model, FARSITE.

The obtained results showed that the number of forest fire occurrences is mainly associated with recurrent fire. This type of fires is small with no particular meteorological origin, describing the fire regime of the study region. There were two fires with characteristics of cyclic fires, related mainly to extreme weather conditions. This study concluded that for the study region the FWI index was only suitable to predict cyclic fires.

This work contributed to highlight vulnerability of some Portugal regions to forest fires and the need to continue developing expedited means of forest fire prevention and combat.

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE TABELAS	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. SISTEMA CANADIANO DE ÍNDICE METEOROLÓGICO DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL: FWI	8
3. MODELAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE FOGO: FARSITE 4®	11
4. CASO DE ESTUDO: CONCELHO DE ALBERGARIA-A-VELHA	16
4.1. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA	16
4.2. CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-ECONÓMICA	18
4.3. HISTÓRICO DE INCÊNDIO NO CONCELHO DE ALBERGARIA-A-VELHA	19
5. ANÁLISE DE INCÊNDIOS RECORRENTES EM ALBERGARIA-A-VELHA	24
5.1. ANÁLISE POR LOCALIZAÇÃO	26
5.2. ANÁLISE TEMPORAL	26
5.3. ANÁLISE POR CAUSA	28
5.4. ANÁLISE POR TIPO DE VEGETAÇÃO	29
5.5. ANÁLISE DOS DADOS METEOROLÓGICOS	31
5.6. ESTIMATIVA E ANÁLISE DO FWI	34
5.7. COMENTÁRIOS FINAIS	39
6. ANÁLISE DO INCÊNDIO CÍCLICO EM ALBERGARIA-A-VELHA	40
6.1. ANÁLISE DOS FACTORES METEOROLÓGICOS	41
6.2. ANÁLISE DO ÍNDICE DE RISCO: FWI	48
6.3. APLICAÇÃO DO MODELO FARSITE®	52
6.3.1. DOMÍNIO DE SIMULAÇÃO	52
6.3.2. SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO INCÊNDIO	55
6.4. COMENTÁRIOS FINAIS	59
7. SUMÁRIO E CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS	71
ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS DE RECORRÊNCIA	73
ANEXO B – GRUPOS DE RECORRÊNCIA: RELAÇÃO ENTRE O FWI E A ÁREA ARDIDA	75
ANEXO C – INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR PARA A ANÁLISE DO INCÊNDIO CÍCLICO	79
ANEXO D – RECOLHA DE ARTIGOS DA COMUNICAÇÃO SOCIAL	83



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estatísticas de 1980-2008 para o Sul da Europa de a) área ardida e b) número de incêndios [EC, 2009].	1
Figura 2. Evolução do número de ocorrências e da área ardida para Portugal Continental.	2
Figura 3. Média do número de ocorrências e área ardida, para o período de 1980-2006, para cada distrito.	3
Figura 4. Componentes do sistema canadiano FWI [Van Wagner, 1987].	9
Figura 5. Identificação das variáveis de entrada e saída do modelo de progressão FARSITE.	11
Figura 6. Concelho de Albergaria-a-Velha e respectivas freguesias [URL 1].	16
Figura 7. Evolução do número de ocorrências e área ardida para o período de 1980-2006, no concelho de Albergaria-a-Velha.	20
Figura 8. Representação do número de ocorrências por ano e por área ardida e respectivos perímetros de incêndio.	21
Figura 9. Representação dos perímetros de incêndio.	22
Figura 10. Distribuição mensal de número de incêndios.	27
Figura 11. Relação entre a área ardida e a duração de cada ocorrência.	27
Figura 12. Distribuição da frequência de causas para as recorrências seleccionadas.	29
Figura 13. Distribuição do número de ocorrências por tipo de uso de solo.	30
Figura 14. Distribuição das ocorrências segundo a direcção de vento.	31
Figura 15. Distribuição das ocorrências em função da velocidade do vento.	32
Figura 16. Distribuição das ocorrências em função da humidade relativa.	33
Figura 17. Distribuição das ocorrências em função da temperatura.	34
Figura 18. Relação entre a área ardida e FWI para cada ocorrência.	35
Figura 19. Relação entre a área ardida e FWI para a recorrência 14.	35
Figura 20. Dados meteorológicos horários medidos na estação da UA para o dia 7 de Março.	36
Figura 21. Dados meteorológicos horários para o dia 22 de Agosto.	37
Figura 22. Relação entre a área ardida e FWI para as recorrências a) 5 e b) 12.	38

Figura 23. Localização de Albergaria-a-Velha e as estações meteorológicas da Barragem de Castelo Burgães(BCB) e Universidade de Aveiro (UA).	42
Figura 24. Dados meteorológicos registados na estação da Universidade de Aveiro para os dias a) 6 de Julho; b) 7 de Julho e c) 8 de Julho de 2005.	44
Figura 25. Dados meteorológicos registados na estação da Barragem de Castelo Burgães para os dias a) 6 de Julho; b) 7 de Julho e c) 8 de Julho de 2005.	46
Figura 26. Variação anual do FWI (base diária) e classificação de risco	48
Figura 27. Máximo mensal do índice FWI ao longo do ano 2005.	49
Figura 28. Variação diária do índice FWI para Julho 2005.	50
Figura 29. Variação diária para o mês de Julho de 2005 dos índices BUI, ISI, FPMC e FWI para a) a estação meteorológica da UA e b) a estação meteorológica da BCB.	51
Figura 30. Localização geográfica do perímetro do incêndio	53
Figura 31. Domínio de aplicação e respectivos combustíveis.	54
Figura 32. Resultado da simulação para o cenário 1.	56
Figura 33.Resultado da simulação para o cenário 2.	57
Figura 34.Resultado da simulação para o cenário 3.	58
Figura 35.Resultado da simulação para o cenário 4.	58
Figura B.1. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 1.	75
Figura B.2. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 2.	75
Figura B.3. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 3.	75
Figura B.4. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 4.	75
Figura B.5. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 6.	76
Figura B.6. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 7.	76
Figura B.7. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 9.	76
Figura B.8.Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 11.	76
Figura B.9.Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 13.	77
Figura B.10.Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 15.	77
Figura B.11. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 16.	77

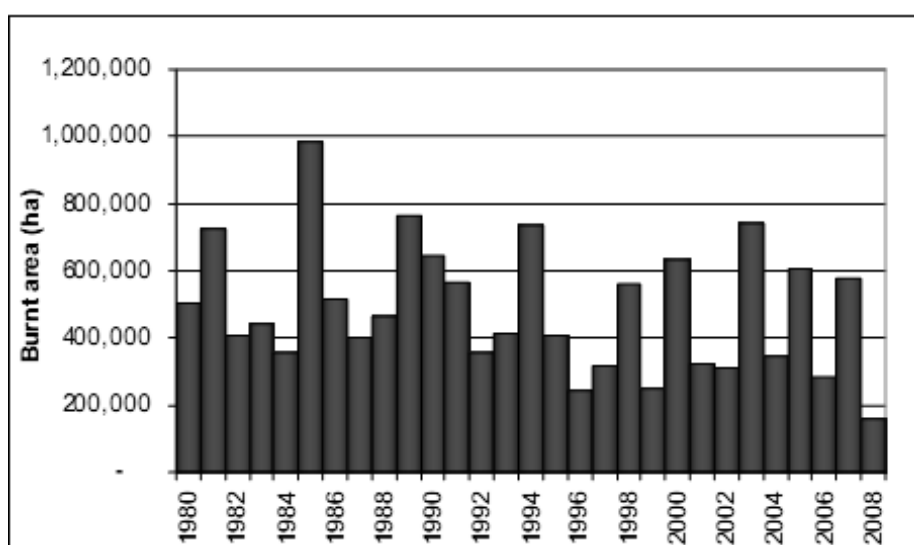
Figura B.12. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 17.	77
Figura C.1. Relatório de Incêndio.	79
Figura C.2. Altimetria do domínio de simulação.	80
Figura C.3. Declive do domínio de simulação.	80
Figura C.4. Exposição do domínio de simulação.	81
Figura C.5. Tipos de uso de solo existentes no domínio de simulação	81
Figura D.1. Artigo do jornal “Diário Digital” in <a href="http://www.bombeirosdealbergaria.pt">www.bombeirosdealbergaria.pt</a>	83
Figura D.2. Artigo do jornal “Jornal de Notícias” in <a href="http://www.bombeirosdealbergaria.pt">www.bombeirosdealbergaria.pt</a>	83

#### LISTA DE TABELAS

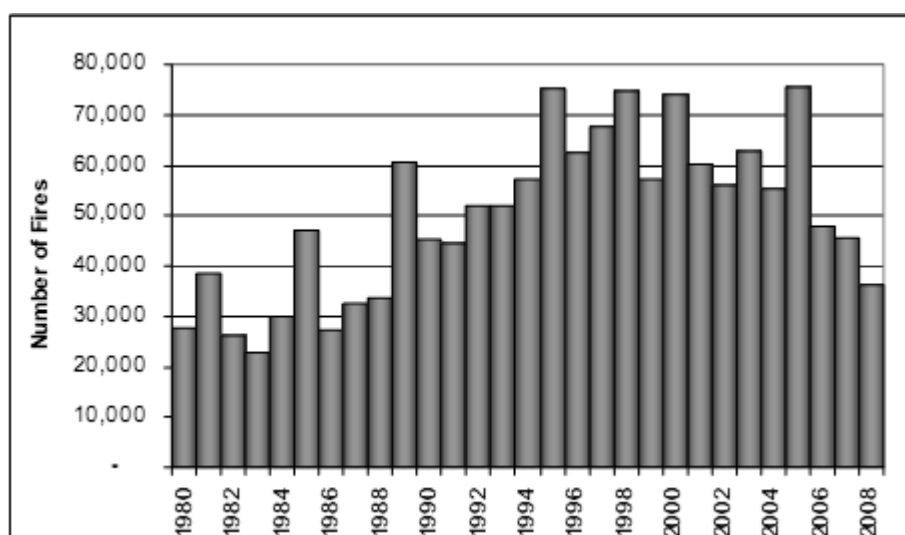
Tabela 1. Classes de risco de incêndio para Portugal Continental [Viegas et al., 2004].	10
Tabela 2. Variáveis de entrada do modelo FARSITE [adaptado de Finney, 1998].	12
Tabela 3. Atribuição a cada tipo de uso de solo do respectivo modelo de combustível.	13
Tabela 4. Uso de Solo no concelho de Albergaria-a-Velha [Gabinete Técnico Florestal, 2006]	17
Tabela 5. Distribuição populacional por freguesia do concelho de Albergaria-a-Velha [INE, 2002]	18
Tabela 6. Agrupamento das recorrências.	25
Tabela 7. Frequência de Recorrência por freguesia.	26
Tabela 8. Compilação de dados meteorológicos relevantes.	41
Tabela 9. Principais características das estações.	42
Tabela 10. Área aproximada dos perímetros 1, 2 e 3	53
Tabela 11. Descrição dos cenários de simulação.	55
Tabela 12. Dados de entrada e resultados das simulações.	55
Tabela A.1. Recorrências Agrupadas.	73
Tabela C.1. Caracterização dos modelos de combustível do FARSITE®.	82

## 1. INTRODUÇÃO

As estatísticas europeias baseadas no sistema EFFIS (European Forest Fires Information System) sobre fogos florestais apontam os 5 estados do Sul da Europa (Portugal, Espanha, França, Itália e Grécia) como sendo os mais afectados pelos incêndios florestais, merecendo uma análise diferenciada nos relatórios anuais sobre fogos florestais na Europa. Na Figura 1 pode observar-se evolução da área ardida nestes países e o número de incêndios para o período de 1980-2008.



a)



b)

Figura 1. Evolução da a) área ardida e do b) número de incêndios, entre 1980 e 2008 para os países do Sul da Europa [EC, 2009].

Com base na análise do gráfico da Figura 1. a) constata-se que nos países do Sul da Europa a tendência aponta para a diminuição da área ardida, com a excepção de alguns anos onde se registam situações de extremo. Os valores de pico de área ardida mais recentes são globalmente inferiores aos valores de pico de área ardida registados no passado. Durante a década de 90 o número de fogos aumentou, enquanto nos últimos anos tem demonstrado uma tendência oposta [EC, 2009]. O ano de 2003 foi considerado um dos anos mais severos, registando um dos valores mais elevados de área ardida e de número de fogos, sobretudo em Portugal e França [EC, 2004]. O número de fogos é superado no ano 2005, tendo-se registado um maior número de incêndios florestais ainda que com uma menor área ardida. Já, o ano 2008 foi o que registou o menor valor de área ardida desde 1980 e também o menor número de ocorrências desde 1990, para o conjunto dos 5 países. Contudo, as estatísticas variam de ano para ano, evidenciando a dependência entre a área ardida e as condições meteorológicas sazonais [EC, 2009].

Em Portugal, os dados dos incêndios florestais disponibilizados pela Autoridade Florestal Nacional (ex-Direcção Geral das Florestas) apontam para o aumento do número de ocorrências e de área ardida ao longo do tempo [AFN, 2008; AFN, 2009]. Na Figura 2 pode observar-se a evolução desses números para Portugal Continental para o período de 1980-2006. Os picos de área ardida acontecem nos anos 2003 e 2005, à semelhança dos valores registados no resto da Europa. Nas últimas décadas, em Portugal, tem sido evidente o aumento da ocorrência de incêndios florestais de grandes dimensões [Carvalho et al., 2010].

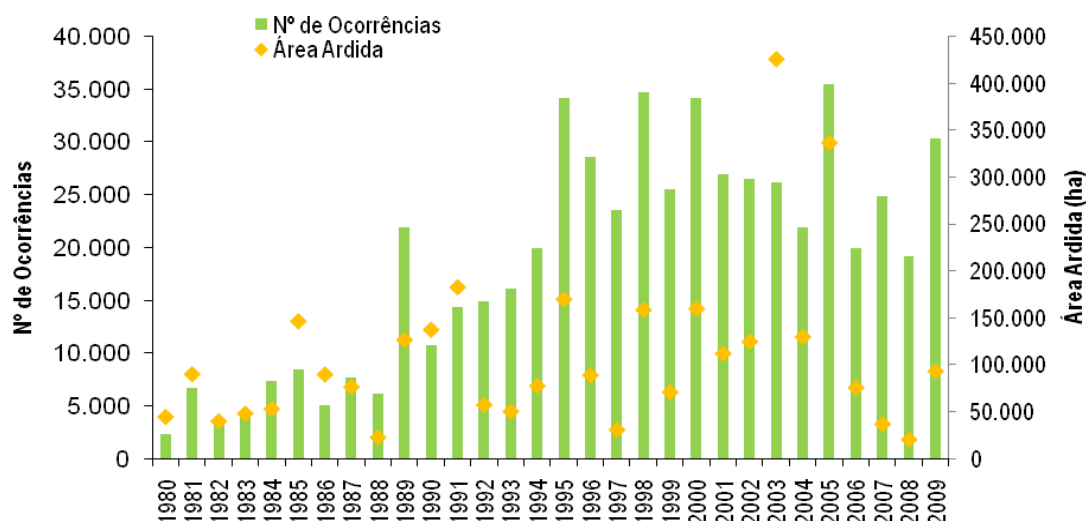


Figura 2. Evolução do número de ocorrências e da área ardida para Portugal Continental.

A década de 90 ficou marcada por uma alternância de anos catastróficos e anos “amenos”. No entanto, os incêndios em anos “calmos” mostravam uma selectividade muito peculiar, pois incidiram em determinados períodos de tempo e especialmente em certas regiões. Até ao ano 2000, os incêndios apenas deflagravam de uma forma incisiva em algumas regiões, concentrando-se em cinco distritos: Guarda, Coimbra, Viseu, Castelo Branco e Vila Real; estendendo-se, a partir desse ano, de forma generalizada a todo o território nacional [Vieira, 2006]. Na Figura 3 apresenta-se a média anual do número de ocorrências e área ardida para o período de 1980-2006, organizada por distritos.

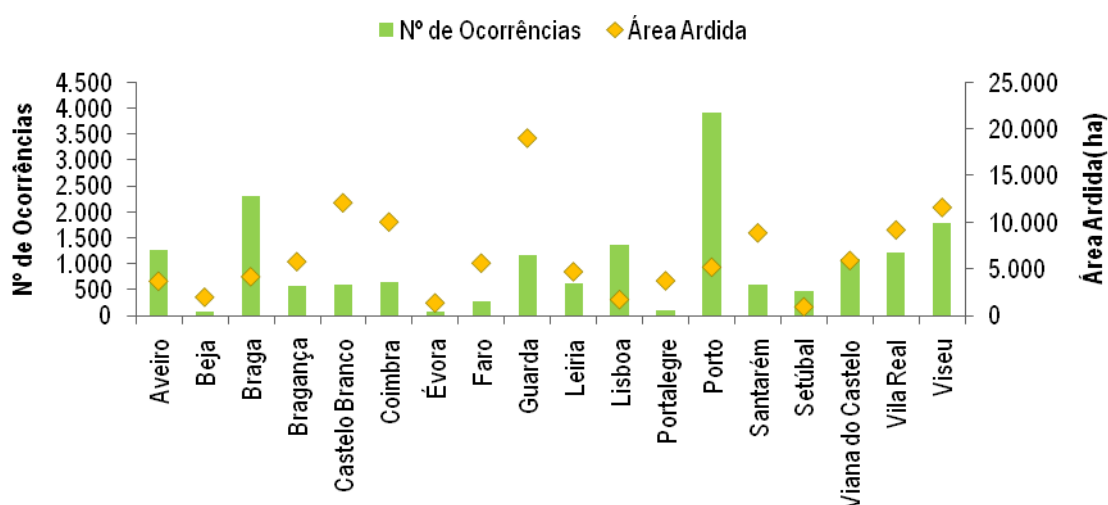


Figura 3. Média anual do número de ocorrências e área ardida, para o período de 1980-2006, para cada distrito.

Os distritos de Aveiro, Braga, Lisboa e Porto são os que registam mais ocorrências às quais corresponde, no entanto, uma percentagem baixa de área ardida. Os maiores valores de área ardida são registados nos distritos de Castelo Branco, Coimbra, Guarda, Santarém, Vila Real e Viseu.

Os Relatórios Anuais de Incêndios Florestais elaborados pela Autoridade Florestal Nacional têm evidenciado a vulnerabilidade da floresta às condições meteorológicas que condicionam o número e dimensão das ocorrências [DGRF, 2006; DGRF, 2007; DGRF, 2008, AFN, 2008; AFN, 2009]. É de realçar a importância das condições meteorológicas extremas (como as registadas em 2003 e 2005) que conduziram a incêndios de grandes dimensões [Trigo et al., 2006, Viegas et al., 2006], sendo indispensável compreender as causas e as características do fogo florestal, nomeadamente:

- 1) os princípios que regem a combustão e que se relacionam com os combustíveis nas condições específicas da floresta;
- 2) os factores climáticos e fisiográficos que influenciam a eclosão, a progressão e a intensidade dos fogos florestais e as metodologias de previsão e de avaliação de risco em determinada região [Macedo & Sardinha, 1993].

Viegas (2006) considera os factores condicionantes do comportamento do fogo agrupados em três classes que definem o denominado “triângulo do fogo”: o combustível, a topografia e a meteorologia. Destaca também a relevância da variável tempo para o comportamento do fogo, atendendo ao seu comportamento dinâmico, com condições de propagação variáveis ao longo do tempo, propondo o chamado “quadrado do fogo”.

Os principais factores meteorológicos que influenciam a propagação de um fogo na sua fase inicial são fundamentalmente a humidade relativa do ar, a velocidade do vento e a estabilidade atmosférica [Macedo & Sardinha, 1993]. No seu conjunto afectam, quer a inflamabilidade, quer a combustibilidade do leito combustível [Viegas, 2006].

O vento, por si só, é o factor que mais afecta a propagação dos incêndios, sendo praticamente todos os grandes incêndios e situações perigosas acompanhados de vento intenso. [Viegas, 1989]. No entanto, em termos dos sistemas de previsão de risco de incêndio, a velocidade e direcção do vento sofrem variações rápidas que condicionam a previsão da ignição e propagação dos incêndios florestais.

A circulação atmosférica associada aos grandes incêndios em Portugal está relacionada com uma diminuição da pressão atmosférica sobre a Península Ibérica devida ao forte aquecimento da massa de ar continental [Ramos & Ventura, 1992]. No Verão, o fenómeno é reforçado pelo anticiclone dos Açores que se estende até ao centro da Europa e que se combina com elevadas pressões da secção mediterrânica e com advecções anómalas de ar quente e seco do Norte de África até ao centro da península [Pereira et al., 2005, Hoinka et al., 2009]. Lourenço (1988) concretiza que estas condições favorecem um aumento gradual da temperatura e progressiva diminuição da humidade relativa do ar que provocam a perda de humidade na vegetação. Conjugando a estes factores o vento quente e seco de Este, que aumenta o aquecimento e secagem dos combustíveis, a progressão do incêndio é favorecida, fazendo-se de acordo com o rumo do vento (de Este para Oeste).

A conjugação das condições atrás descritas condiciona a distribuição dos incêndios florestais ao longo do tempo numa determinada região, contribuindo para a definição do regime de fogo dessa

região. O regime de fogo refere-se, portanto, à natureza dos fogos que ocorrem num intervalo de tempo longo, de pelo menos algumas décadas, bem como aos seus efeitos mais proeminentes, que caracterizam um determinado ecossistema ou tipo de coberto vegetal e uso do solo [Pereira et al., 2006]. O regime de fogo pode também ser definido pela distribuição das dimensões dos fogos, pela frequência dos eventos (incluindo a sua sazonalidade), pela intensidade e severidade, e pelo padrão espacial de áreas ardidas; estas características tipificam o historial de fogos numa dada região [Ventura & Vasconcelos, 2006]. Todos estes factores definem um padrão de regime de fogo de uma dada região.

A frequência do fogo representa o tempo médio que é necessário decorrer para que uma área igual à da região em foco arda uma vez [Ventura & Vasconcelos, 2006]. Baixas frequências e, por conseguinte, longos períodos entre fogos podem aumentar a continuidade dos combustíveis quer horizontal, quer verticalmente, favorecendo os fogos de maiores dimensões que atingem as copas em circunstâncias onde seria normal a ocorrência de fogos de subcoberto, caso os intervalos entre fogos fossem mais curtos [Zedler & Rego, 2006].

Os efeitos do fogo na biodiversidade dependem essencialmente do estado de evolução do ecossistema e da frequência da ocorrência do fogo [Correia & Clemente, 2001 in Santos, 2007]. Tal como evidencia Pausas (2004a), a maioria das espécies permanece invariável perante a recorrência, outras desaparecem ao incrementar a recorrência e ainda podem aparecer espécies novas. Portanto, a longo prazo, a recorrência pode condicionar a dinâmica e abundância da vegetação.

Após a eclosão de um fogo, a carga de combustível aumentará rapidamente, juntamente com o rácio material morto/vivo, e esta acumulação vai-se tornando gradual à medida que a idade da vegetação aumenta. Consequentemente, sustenta-se que os fogos que ocorram em vegetação que não experimenta um fogo há muito tempo irão apresentar uma maior intensidade e, como resultado, causarão maior mortalidade e decadência nos ecossistemas, podendo ter um efeito negativo na biodiversidade [Verben, 2003 in Zedler & Rego, 2006]. Efectivamente, Giovannini et al. (2001) referem que a passagem de fogos intensos e recorrentes numa dada região pode contribuir para homogeneizar a cobertura vegetal tendo consequências na resposta do ecossistema ao fogo em termos de escoamento e erosão do solo.

Em regiões propensas à ocorrência de fogos, a vegetação encontra-se perfeitamente adaptada a estas circunstâncias [Correia & Clemente, 2001 in Santos, 2007], tanto no que diz respeito a estratégias de sobrevivência como à exploração de oportunidades face a este factor de perturbação



[Trabaud & Lepart, 1982 in Pausas & Vallejo, 1999]. Nestas regiões, e no que concerne às espécies vegetais, o fogo não é considerado uma catástrofe biológica, desde que se enquadre nos valores históricos de recorrência temporal, intensidade, época e extensão [Zedler & Rego, 2006; Santos, 2007], desempenhando um papel ecológico fundamental. Assim, o fogo é um factor ecológico importante nos ecossistemas Mediterrânicos, actuando como um agente selectivo e regulador [Ferran et al., 2005].

Em Portugal, alterações no clima, no uso do solo e na actividade humana resultaram em alterações do padrão de regime do fogo, sobretudo a partir da década de 70. Tal como defende Pausas (2004b) a variabilidade da área ardida pode ser explicada por factores climáticos enquanto o número de ignições poderá estar mais relacionada com factores humanos. Efectivamente, nas condições ambientais de Portugal, são relativamente raros os incêndios causados por fenómenos naturais, sendo a esmagadora maioria das ocorrências originadas directa ou indirectamente pela acção humana [Viegas, 1989]. Em Portugal, as condições meteorológicas são o factor que mais influencia a estatística dos fogos [Carvalho et al., 2008].

Concretamente, Vieira (2006) refere que 56,3 % da área ardida em Portugal no período de 1990-2005 ardeu apenas uma vez, 27,2% ardeu duas vezes, 11,3% ardeu três vezes e 5,2% ardeu quatro ou mais vezes. Efectivamente, descontando as recorrências, em muitos distritos verifica-se uma redução significativa na área territorial afectada. E por exemplo, em vez de 25,5% do território nacional afectado pelos fogos em 1990, tem-se somente 18,6%. Com efeito, os povoamentos florestais têm sido destruídos, e de um forma recorrente, pelo que não se torna possível a regeneração natural e a recuperação do coberto arbóreo.

Adicionalmente, Vieira (2006) destaca a perturbação existente dentro do regime de fogo para determinadas regiões de Portugal. Por exemplo, para os distritos de Aveiro, Faro, Leiria, Lisboa e Portalegre existe um mesmo padrão de ciclo de fogo, caracterizado por períodos em que arde muita floresta, seguido de um período muito longo onde esta proporção se reduz após o qual ocorre uma nova vaga de grandes incêndios. Este tipo de incêndios caracterizados por baixas frequências e grande extensão denomina-se de incêndio cíclico.

Em suma, o incêndio recorrente pode ser considerado um fenómeno que ocorre naturalmente no ciclo de fogo, se a sua causa é natural ou mesmo antropogénica associada a determinada actividade agro-florestal. Contudo, com as alterações demográficas na sociedade, esta recorrência, bem como as causas que lhe estão associadas têm vindo a ser alteradas. O progressivo abandono

das terras de cultivo e pastoreio, gera combustível disponível, em quantidade e continuidade, que juntamente com o incremento de ignições, potenciam a ocorrência de grandes incêndios.

O objectivo deste trabalho é caracterizar e analisar os incêndios recorrentes e cíclicos do concelho de Albergaria-a-Velha e compreender a adequabilidade do índice meteorológico de risco para a previsão destes incêndios. A escolha do concelho de Albergaria-a-Velha para o caso de estudo deste trabalho teve origem na preocupação demonstrada pelo Comandante dos Bombeiros Voluntários relativa aos grandes incêndios do concelho. Por outro lado, constatou-se alguma sensibilidade da autarquia para a problemática, havendo já algum trabalho desenvolvido relacionado com o incêndio cíclico, nomeadamente no âmbito do Plano Municipal Emergência. Nesse sentido, o trabalho incidirá no estudo do risco de incêndio, através da análise do Índice Canadano de Risco de Incêndio, Fire Weather Index (FWI) e na análise do comportamento de fogo através da aplicação de um modelo de progressão de fogo, que são apresentados nos capítulos 2 e 3, respectivamente. No capítulo 4 é descrito o caso de estudo, no contexto geográfico, sócio-económico e na incidência de incêndios. No capítulo 5 analisa-se a recorrência no concelho de Albergaria-a-Velha, do ponto de vista da causalidade, meteorológico, do uso de solo e do risco de incêndio. Interessa perceber quais os factores (ou sua combinação) que afectam estes tipos de incêndio, separadamente. No capítulo 6 o estudo incide no incêndio cíclico centrando-se na avaliação dos condicionantes meteorológicos, análise do FWI e do comportamento de fogo, aplicados ao caso de estudo previamente seleccionado. Finalmente, no capítulo 7 são resumidos os principais resultados e apresentados os comentários finais e as linhas de investigação futuras.

## 2. SISTEMA CANADIANO DE ÍNDICE METEOROLÓGICO DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL: FWI

O Fire Weather Index (FWI) é o sistema canadiano para a previsão de risco de ocorrência de incêndios florestais, baseado na meteorologia e nos seus consequentes efeitos nos diferentes estratos de combustível do solo florestal [Lawson & Armitage, 2008]. O sistema foi desenvolvido pelo Canadian Forestry Service, em 1970. Embora concebido para as florestas canadianas, Viegas et al. (1999) apontam o seu bom desempenho e adequabilidade a Portugal. É com efeito, o sistema utilizado pelo Instituto de Meteorologia para previsão do risco diário de incêndio para Portugal. Desde 2002 que o índice FWI é calculado diariamente pelo Instituto de Meteorologia sem interrupções ao longo do ano, com utilização operacional nas acções de prevenção e combate dos incêndios florestais, inclusive na época de Inverno [Bugalho et al., 2006]. Globalmente, apresenta um bom desempenho relativamente a outros sistemas de previsão. Gabban et al. (2008) desenvolveram uma análise comparativa entre o FWI e o sistema NOAA-AVHRR NDVI na detecção do risco de incêndios em áreas ardidas mas também para áreas não ardidas em Espanha, destacando-se o FWI com o melhor desempenho. Nolasco & Viegas (2006) evidenciam também a melhor adequabilidade do índice FWI para a detecção de risco de incêndios em território espanhol em contraponto com o índice de risco espanhol, IPIF. Actualmente, é o índice de risco utilizado pelo Joint Research Centre (JRC) para mapear o risco de incêndio ao nível da União Europeia [Carvalho et al., 2008].

O sistema FWI baseia-se no teor de humidade de três classes de solo distintas e no efeito do vento no comportamento de fogo [Carvalho, 2008]. O cálculo do FWI envolve seis componentes que modelam a variação da humidade no combustível florestal, acompanhando as alterações na secagem das diferentes camadas de solo [Van Wagner, 1987]. Os parâmetros meteorológicos requeridos pelo sistema FWI para obtenção dos componentes acima descritos são: temperatura, humidade relativa, velocidade do vento, precipitação acumulada nas últimas 24h, medidos às 12h locais [Van Wagner, 1987]. A Figura 4 ilustra a estrutura de cálculo do FWI.

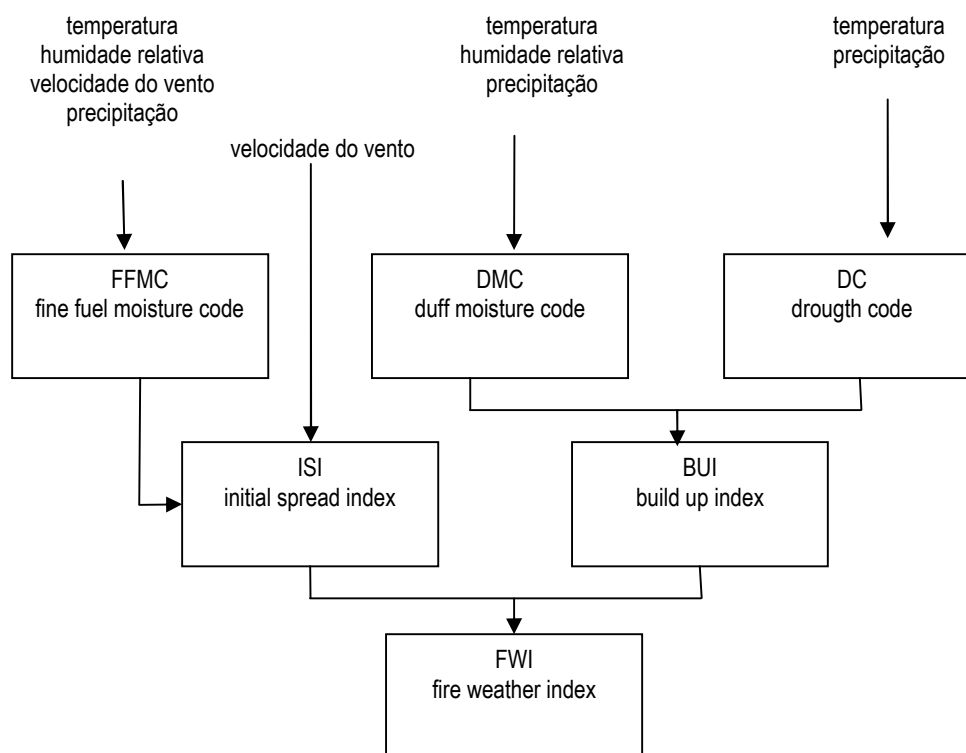


Figura 4. Componentes do sistema canadense FWI [Van Wagner, 1987].

Os três componentes de humidade de combustível do sistema FWI reflectem as alterações diárias da humidade em três estratos do solo florestal. O Fine Fuel Moisture Code (FFMC) é o índice de teor de humidade dos combustíveis finos, indicador da facilidade de ignição e inflamabilidade dos mesmos; o Duff Moisture Code (DMC) indica o teor de humidade da camada orgânica intermédia e o Drought Code (DC) é indicador do teor de humidade da camada orgânica compacta mais profunda, pelo que representa a sensibilidade à ausência de água no solo. Os componentes DMC e DC combinados produzem um índice que estima a quantidade de combustível disponível para arder, Build Up Index (BUI). O FFMC e a velocidade do vento dão origem ao índice Initial Spread Index (ISI), que mede a velocidade de propagação do fogo na fase inicial. Os índices BUI e ISI representam o comportamento do fogo [Viegas et al., 2004]. Finalmente, a estimativa do FWI, resulta da junção do BUI e do ISI, representa o potencial de intensidade do fogo e o perigo de incêndio. O cálculo incorpora ainda uma variável adicional, Daily Severity Rating (DSR) que reflecte a dificuldade de controlo dos incêndios florestais e os meios necessários à sua supressão.

Viegas et al. (2004) efectuaram a calibração das classes de perigo de incêndio para Portugal Continental recorrendo à análise estatística da variação diária do FWI, número de fogos e área ardida para cada distrito do país. Os valores do FWI correspondentes a cada classe de risco para todos os distritos de Portugal Continental são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Classes de risco de incêndio para Portugal Continental [Viegas et al., 2004].

Distritos	Classes de Risco				
	Baixo	Moderado	Alto	Muito Alto	Extremo
Viana do Castelo	<10	15	30	45	>45
Braga	<10	15	30	50	>50
Porto	<8	15	25	40	>40
Vila Real	<13	20	30	50	>50
Bragança	<23	30	45	55	>55
Aveiro	<10	17	23	40	>40
Viseu	<15	25	45	70	>70
Guarda	<8	15	25	50	>50
Coimbra	<15	22	30	45	>45
Leiria	<15	23	30	50	>50
Castelo Branco	<20	35	45	60	>60
Lisboa	<25	35	50	70	>70
Santarém	<25	33	50	60	>60
Setúbal	<30	40	55	70	>70
Portalegre	<35	50	65	75	>75
Évora	<40	50	65	75	>75
Beja	<40	50	65	75	>75
Faro	<30	40	60	75	>75

A definição das classes de perigo de incêndio que representam o comportamento potencial do fogo, são úteis para a definição dos meios de supressão do fogo. Nesse sentido, Palheiro et al. (2006) desenvolveram um trabalho onde relacionam os componentes do FWI com dados observados e simulados de comportamento de fogo em pinhal bravo (*Pinus pinaster* Aiton). As comparações estabelecidas permitiram construir novas classes de perigo que representam a dificuldade dos meios de supressão da intensidade da linha de fogo em povoamentos de pinhal.

### 3. MODELAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO: FARSITE 4

O programa FARSITE (Fire Area Simulator) é um modelo determinístico bidimensional capaz de simular o comportamento e progressão de fogo no espaço e no tempo, para diferentes condições de terreno, combustível e meteorologia, podendo ser aplicado em longos intervalos de tempo [Finney, 1998]. Integra os diversos modelos teóricos de progressão de fogo e os consequentes padrões espaciais de comportamento do fogo, através de uma interface gráfica. O FARSITE incorpora os seguintes módulos: modelo de progressão de fogo superficial (Rothermel, 1972); modelo de progressão de fogo de copas (Van Wagner, 1993), modelo de projecção (Albini, 1979), modelo de progressão de um foco pontual (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992) e modelo de combustível (Nelson, 2000) [Stratton, 2006].

A progressão do fogo baseia-se no Princípio de Huygens que considera a evolução do fogo segundo uma onda elíptica, formada por um conjunto de vértices que definem a frente do fogo. Cada vértice é independente e dá origem a uma onda elíptica distinta. Em cada um destes pontos, as variáveis combustível, meteorologia e topografia são usadas para simular o comportamento de fogo [Finney, 1998]. Assim, como resultado da simulação, o modelo devolve um mapa com a representação da evolução do perímetro de fogo ao longo do tempo.

Os dados necessários para a aplicação do FARSITE são essencialmente dados de topografia, vegetação e meteorológicos. A estrutura base de uma simulação em FARSITE é ilustrada na Figura 5.

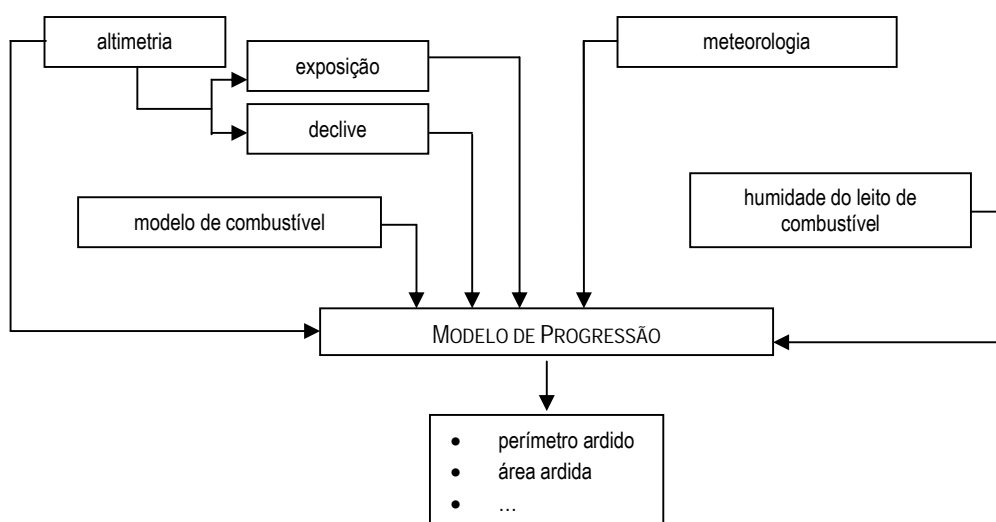


Figura 5. Identificação das variáveis de entrada e saída do modelo de progressão FARSITE.

A informação acerca da topografia e combustível é obtida através de ficheiros raster, com malhas com resolução espacial de 25 a 50 m. A informação geográfica raster necessária é a seguinte: altimetria; declive; exposição; modelo de combustível; cobertura vegetal e ainda, opcionalmente, altura da copa; altura da base da copa; densidade da copa.

Na Tabela 2 identificam-se algumas das variáveis necessárias para aplicar o modelo FARSITE.

Tabela 2. Variáveis de entrada do modelo FARSITE [adaptado de Finney, 1998].

Ficheiro raster	Unidades	Objectivo
Elevação	m	Ajuste adiabático da temperatura e humidade do ficheiro meteorológico.
Declive	%	Estimativa dos efeitos directos da propagação de fogo; Determinação do ângulo de incidência da radiação solar (considera o ficheiro exposição); transformação da velocidade e direcção de propagação superficiais para coordenadas horizontais.
Exposição	°	Determinação do ângulo de incidência da radiação solar.
Modelo de Combustível		Descrição do combustível de superfície para determinação do comportamento do fogo superficial.
Cobertura Vegetal	%	Determinação do efeito da sombra das copas no terreno que condiciona os cálculos da humidade do combustível.

A informação raster pode ser tratada num sistema de informação geográfica para obtenção dos ficheiros para entrada no modelo.

Para aplicação do modelo FARSITE é necessário fazer a transposição dos modelos de combustíveis do território americano para o combustível associado ao território nacional. Miranda et al. (2005) no relatório SPREAD D252 fazem a transposição dos modelos de combustível do território americano, National Fire Danger Rating System (NFDRS) organizados por Burgan (1988), para o território do Sul da Europa. Numa primeira fase, estabeleceu-se a relação entre a informação de tipo de uso de solo Corine Land Cover e os modelos de combustível NFDRS, representada nas duas colunas da esquerda da Tabela 3. No entanto, o FARSITE trabalha com o modelo de combustível desenvolvido por Anderson (1982) e com o modelo de Scott&Burgan (2005). Neste sentido, para aplicação do modelo definiu-se a ligação entre o modelo de Anderson (1982) e os modelos definidos no National Fire Danger Rating System (NFDRS), representadas nas colunas da direita da Tabela 3. A relação estabelecida entre o uso de solo fornecido pelo CLC e o tipo de combustível associado é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Atribuição a cada tipo de uso de solo do respectivo modelo de combustível.

Uso de Solo do Código Corine Land Cover 2006		NFDRS	FARSITE
Tecidos artificializados	Tecido Urbano Descontínuo	-	NB9
	Indústria, Comércio e Equipamentos Gerais	-	NB9
	Redes viária e ferroviária e espaços associados	-	NB9
Áreas agrícolas e agro-florestais	Culturas temporárias de sequeiro	N – inland and coastland marshes	3
	Culturas temporárias de regadio	-	NB9
	Pastagens permanentes		1
	Culturas temporárias+pastagens	A – grassland vegetated by annual grasses and forbs	1
	Sistemas culturais e parcelares complexos		1
	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	S – sparsely vegetated áreas	6
Florestas e espaços naturais e semi-naturais	Florestas de folhosas	R - broadleaved forest	8
	Florestas de resinosas	H – short needled conifers with sparse undergrowth and thin layer of ground fuels	8
		P – coniferous forest with Iberian-Atlantic oak-ash woods and Cantabrian beechwoods	9
	Florestas mistas		
	Florestas abertas, cortes e novas plantações	T – transitional woodland shrub	5

Na terceira coluna estão representados, por números, cada modelo de combustível que se aproximam das características de cada uso de solo. As estruturas artificiais, isto é, tecidos urbanos e outras infra-estruturas, não são consideradas combustíveis (NB9). As estruturas naturais, como cursos de água ou mesmo culturas de regadio não são consideradas inflamáveis, não possuindo um modelo de combustível (NB9).

A informação meteorológica é fornecida por séries temporais das variáveis mais relevantes, considerando-se uma distribuição uniforme das condições meteorológicas na área de estudo. Esta informação organiza-se em dois ficheiros: o ficheiro meteorológico e o ficheiro vento. O ficheiro meteorológico pretende representar o padrão meteorológico diurno da área de estudo de forma a caracterizar os combustíveis mortos dessa zona. Este ficheiro é formado por séries de medições diárias de mínimos e máximos de temperatura e humidade relativa (este módulo considera que a hora a que se verifica o máximo de temperatura corresponde à hora do registo mínimo de humidade relativa) e ainda medições diárias da precipitação. O ficheiro vento pretende representar as variações pontuais da velocidade do vento e da direcção horizontal do vento, uma vez que o modelo FARSITE assume as componentes do vento constantes no espaço e apenas variáveis no tempo. O



ficheiro deve conter valores horários da velocidade e direcção do vento, mas também da cobertura nebulosa [Finney, 1998]. No caso particular de um incêndio de Verão, com ausência de precipitação, pode considerar-se a não existência de cobertura nebulosa.

A simulação em FARSITE permite calcular parâmetros relevantes para a caracterização do fogo, como o perímetro e área ardida, a intensidade da linha de fogo, o calor libertado por unidade de área, entre outros. Para além das simulações do fogo condicionadas apenas pelas condições meteorológicas e do terreno, o modelo possui também ferramentas de simulação que permitem simular diferentes formas de combate de incêndio: terrestres e aéreas; directo, indirecto e paralelo e utilização de barreiras. É possível, pois, obter vários cenários, que permitem avaliar a eficácia de determinadas medidas de combate e fundamentar a tomada de decisão.

O modelo tem sido usado também para avaliar a eficiência das técnicas de gestão de combustível. Stratton (2004) descreveu o uso do FARSITE para testar o efeito do tratamento de combustível no sul do estado de Utah (Estados Unidos da América, EUA), antes e depois do fogo, nos diversos parâmetros acima referidos (crescimento do fogo, intensidade da linha de fogo, entre outros). Os autores concluíram que podem obter-se resultados espaciais muito úteis na avaliação da eficiência da gestão do combustível e dos planos de queima. Van Wagtendonk (1996) e Stephens (1998) em aplicações semelhantes na gestão de combustível na Sierra Nevada (estados da Califórnia e Nevada, EUA) referem contudo algumas limitações inerentes ao uso do modelo nomeadamente no que se refere ao efeito da informação contida nos elementos de informação geográfica no comportamento do fogo bem como, nas limitações produzidas pelo facto de a estrutura do modelo considerar uma distribuição homogéneo do mapa de combustíveis e das condições meteorológicas e ainda no princípio de dispersão do fogo, segundo uma onda elíptica.

Na Europa, Arca et al. (2006), avaliaram a capacidade do FARSITE na previsão correcta do comportamento do fogo na região mediterrânica e concluíram que globalmente este modelo é capaz de reproduzir o desenvolvimento dos fogos nesta região, denotando apenas algumas fragilidades relacionadas com a produção de perímetros de fogo e velocidades de progressão irreais quando aplicados os modelos de combustíveis standard. Neste sentido, Arca et al. (2006), denotam que a correcta calibração e validação é muito importante sobretudo na escolha do tipo de combustível e poderia conduzir ao desenvolvimento de modelos de combustível locais. De igual modo, Halada et al. (2006) reconheceram a aplicabilidade do modelo FARSITE na modelação do comportamento do fogo na Europa Central, encontrando também limitações ao uso dos modelos de combustível

standard (Northern Forest Fire Laboratory) e ainda algumas limitações relacionadas com a topografia complexa que o modelo não consegue reproduzir.

Em Portugal, têm sido desenvolvidas aplicações com o modelo FARSITE, principalmente, para avaliação de técnicas de gestão do combustível florestal. Loureiro et al. (2002) estudaram a eficiência da utilização do fogo controlado para redução de combustível no Perímetro Florestal de Entre Vez-e-Coura, otimizando com recurso a este modelo o efeito da redução da continuidade de combustíveis e dos padrões espaciais na progressão e comportamento do fogo. Loureiro et al. (2006) testaram o comportamento do fogo com o modelo FARSITE, quando aplicadas diversas técnicas de tratamento dos combustíveis florestais antes e depois do fogo, para implementação de um projecto de gestão de combustível pelos Serviços Florestais na região da Serra do Marão. O modelo FARSITE já foi testado para o território nacional sendo, portanto, adequada a sua aplicação no âmbito deste trabalho.

#### 4. CASO DE ESTUDO: CONCELHO DE ALBERGARIA-A-VELHA

Neste capítulo caracteriza-se o caso de estudo, descrevendo-se a estrutura geográfica do concelho e o uso de solo que dela decorre, bem como, a estrutura social e económica de Albergaria-a-Velha. É feito o levantamento do histórico dos fogos ocorridos no concelho nas últimas 3 décadas para enfoque da temática do trabalho.

##### 4.1. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

O concelho de Albergaria-a-Velha situa-se na Região Centro de Portugal, distrito de Aveiro e integra, a NUT III Baixo Vouga. O concelho tem uma área de 158,8 km<sup>2</sup>, dividida por oito freguesias: Albergaria-a-Velha, Alquerubim, Angeja, Branca, Frossos, Ribeira de Fráguas, São João de Loure e Valmaior, organizadas tal como ilustrado na Figura 6. O concelho é delimitado a norte pelos concelhos de Estarreja e Oliveira de Azeméis, a leste por Sever do Vouga, a sudeste por Águeda, a sudoeste por Aveiro e a noroeste, mediado pela Ria de Aveiro, pela Murtosa [Gabinete Técnico Florestal, 2006].



Figura 6. Concelho de Albergaria-a-Velha e respectivas freguesias [URL 1].

As principais vias de comunicação que servem o concelho são a Auto-estrada nº1 (A1), Auto-estrada nº25 (A25) e ainda o Itinerário Complementar nº2 (IC2).

O concelho de Albergaria-a-Velha ocupa uma zona de transição entre o planalto montanhoso do interior que constitui a Serra do Caramulo e a planície, o que lhe confere uma dualidade campo/serra, mais evidente no sentido Norte/Sul, traduzida pelas cotas de altitude que variam entre os 10 e os 400 metros. A zona Este apresenta um relevo mais assimétrico com declives bastante acentuados que podem ser superiores a 30%. A faixa Oeste possui relevo claramente mais plano, delimitando o Rio Vouga [URL 2].

Os solos são considerados de textura mediana e têm por isso elevadas potencialidades para o desenvolvimento florestal, sobretudo a altitude mais elevadas. Os aluviões do Rio Vouga e Ria de Aveiro constituem solos orgânicos de elevada fertilidade, normalmente utilizados para a agricultura, nas zonas de menor cota [URL 2].

Na Tabela 4 resume-se a ocupação do solo para o concelho de Albergaria-a-Velha.

Tabela 4. Uso de Solo no concelho de Albergaria-a-Velha [Gabinete Técnico Florestal, 2006].

Tipo de ocupação	Área (ha)	Área %
Agrícola + Social	5854	38
Florestal	9744	62
Total	15598	100

Cerca de 62% da superfície total do território, ou seja aproximadamente 9744 hectares, é ocupada por floresta com predomínio do eucalipto (83%) e do pinheiro bravo (14%). Existem, ainda, povoamentos de Folhosas (Carvalho Roble e Choupo) que representam uma área residual, associada às margens dos cursos de água e a alguns povoamentos mais antigos. Mais recentemente tem-se assistido a um incremento das áreas ocupadas com espécies folhosas (do tipo Carvalho, Nogueira, Cerejeira, Castanheiro, Freixo ou Plátano), como forma de aproveitamento das terras agrícolas progressivamente abandonadas [Gabinete Técnico Florestal, 2006].

Da superfície florestal do concelho, apenas cerca de 260 hectares (2,7%) são áreas comunitárias pertencentes a baldios das freguesias de Valmaior e de Ribeira de Fráguas que constituem parte do Perímetro Florestal do Rio Mau e se encontram sujeitas a regime florestal parcial. Os restantes 9494 (97,3%) hectares de superfície florestal constituem propriedade privada, com a sua elevada partição em numerosas parcelas de pequenas dimensões [Gabinete Técnico Florestal, 2006].

A partir dos dados do Plano Municipal de Defesa da Floresta contra o Incêndio (PMDFCI) e do Plano Municipal de Emergência (PME) do concelho efectuou-se a caracterização climática da zona. O concelho de Albergaria-a-Velha regista uma variação da temperatura média anual entre os 25°C (máximo do mês de Julho) e 4 °C (mínimo do mês de Dezembro), situando-se a temperatura média anual nos 14°C. A humidade relativa geralmente não ultrapassa os 80%, oscilando entre os 74% e os 82% no período de Inverno e 70% no período de Verão. A precipitação média anual varia entre os 1150 mm e os 1300 mm durante os meses de Outubro a Março, sendo os meses de Julho a Setembro os mais secos. O máximo é registado no mês de Janeiro (170/180 mm) e o mínimo no mês de Julho (12 mm). No que respeita a ventos, os dominantes são os dos quadrantes Noroeste (Verão) e Sudeste (Inverno). No Verão, podem fazer-se sentir ventos do quadrante Este, que são ventos quentes, secos e com velocidade elevada e que constituem, deste modo, um importante factor de risco para a ocorrência de incêndios [Hoinka et al., 2009].

#### 4.2. CARACTERIZAÇÃO SÓCIO-ECONÓMICA

A população residente no concelho de Albergaria-a-Velha, segundo os resultados publicados pelos Censos de 2001 é de 24638 indivíduos e, de acordo com dados da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Rural do Centro (CCDRC) [URL 3] é de 26279 em 2008, apresentando um crescimento de 6.8% nesse período. A distribuição pelas freguesias do concelho apresenta-se na Tabela 5.

Tabela 5. Distribuição populacional por freguesia do concelho de Albergaria-a-Velha [INE, 2002].

Freguesia	Albergaria-a-Velha	Alquerubim	Angeja	Branca	Frossos	Riberia de Fráguas	São João de Loure	Valmaior
População total	7421	2390	2320	5500	964	1860	2152	2022
Densidade populacional (hab.km <sup>-2</sup> )	270	156	111	186	131	71	197	114
Índice de envelhecimento	78	87	118	83	95	93	96	117

As freguesias de Albergaria-a-Velha e Branca apresentam a maior população, em conjunto, 12921 habitantes, representando cerca de 52% da população total do concelho. Frossos é a freguesia

menos populosa, apresentando apenas 964 habitantes correspondentes a cerca de 4% da população do concelho [Gabinete Técnico Florestal, 2006].

Relativamente à densidade populacional, apenas as freguesias de Albergaria-a-Velha, São João de Loure e Branca possuem valores acima da média do concelho (159 hab.km<sup>-2</sup>). Albergaria-a-Velha (270 hab.km<sup>-2</sup>) apresenta o maior valor em contraponto com a freguesia de Ribeira de Fráguas (71 hab.km<sup>-2</sup>), que apresenta o menor valor. Estas freguesias com maior densidade populacional situam-se no corredor central do concelho, sentido Norte-Sul, relacionando-se com as redes viárias que servem esta zona do concelho [PME].

A distribuição dos grupos etários é equilibrada: 4167 indivíduos (0-14 anos); 3628 indivíduos (15-24 anos); 13091 indivíduos (25-64 anos) e 3752 indivíduos (>65 anos). A população activa (faixa etária dos 25-64 anos) constitui o grupo etário predominante, com 13091 indivíduos, que representa cerca de 50% da população do concelho.

As freguesias com maior população idosa são Angeja (índice de envelhecimento:118) e Valmaior (índice de envelhecimento: 117). Pelo contrário, Albergaria-a-Velha (78) e Branca (83) são as duas freguesias com menor índice de envelhecimento.

O sector secundário é o que tem maior representatividade com 56 % da população activa, seguido do sector terciário, com 30% e finalmente o sector primário ocupa apenas 14%. O tecido empresarial baseia-se em pequenas e médias empresas e concentra-se sobretudo nas freguesias de Albergaria-a-Velha e Branca. Estas empresas estão relacionadas com a produção de produtos metálicos, indústrias básicas de metais não ferrosos, indústria têxtil e indústria de madeira [PME].

Embora de menor peso, o sector primário, e no que diz respeito às actividades de agricultura e silvicultura, traduz 1,9% do Valor Acrescentado Bruto (VAB) total do concelho (em 1999), que se materializam em 3 milhões de euros. O sector florestal é também uma importante actividade económica, gerando 5 milhões de euros ao ano [Gabinete Técnico Florestal, 2006].

#### 4.3. HISTÓRICO DE INCÊNDIOS NO CONCELHO DE ALBERGARIA-A-VELHA

Nesta secção faz-se a caracterização dos incêndios florestais no concelho de Albergaria-a-Velha, decorridos entre a década de 80 e o presente. Foi efectuado o levantamento das ocorrências registadas na base de dados da Autoridade Florestal Nacional (AFN). A informação recolhida

permitiu fazer uma análise quantitativa do número de fogos e área ardida, bem como da sua distribuição espacial e temporal.

Na base de dados de incêndios florestais da AFN [URL 4], encontram-se disponíveis dados acerca das ocorrências de incêndio e área ardida (classificadas em povoamentos e matos, públicos e privados). Para cada incêndio é fornecido: a localização geográfica em termos de divisões administrativas (local, freguesia, concelho, distrito), mas também as coordenadas do ponto de ignição (referente ao ponto toponímico mais próximo); a data/hora de alerta, início de intervenção e data/hora de extinção do incêndio; a fonte de alerta e causa, quando apuradas e eventuais reacendimentos.

Reuniram-se os dados para o concelho de Albergaria entre 1980 e 2006; para as freguesias do concelho 1996 a 2008 e para o local do concelho (localização em coordenadas) apenas disponibilizados para os anos 2001 a 2008.

Nesta base, estão também disponíveis aplicações do software Google Earth® com a cartografia referente aos perímetros de incêndio para o período de 1990-2008.

A Figura 7 mostra a evolução do número de fogos e da área ardida, por ano, para o concelho de Albergaria-a-Velha.

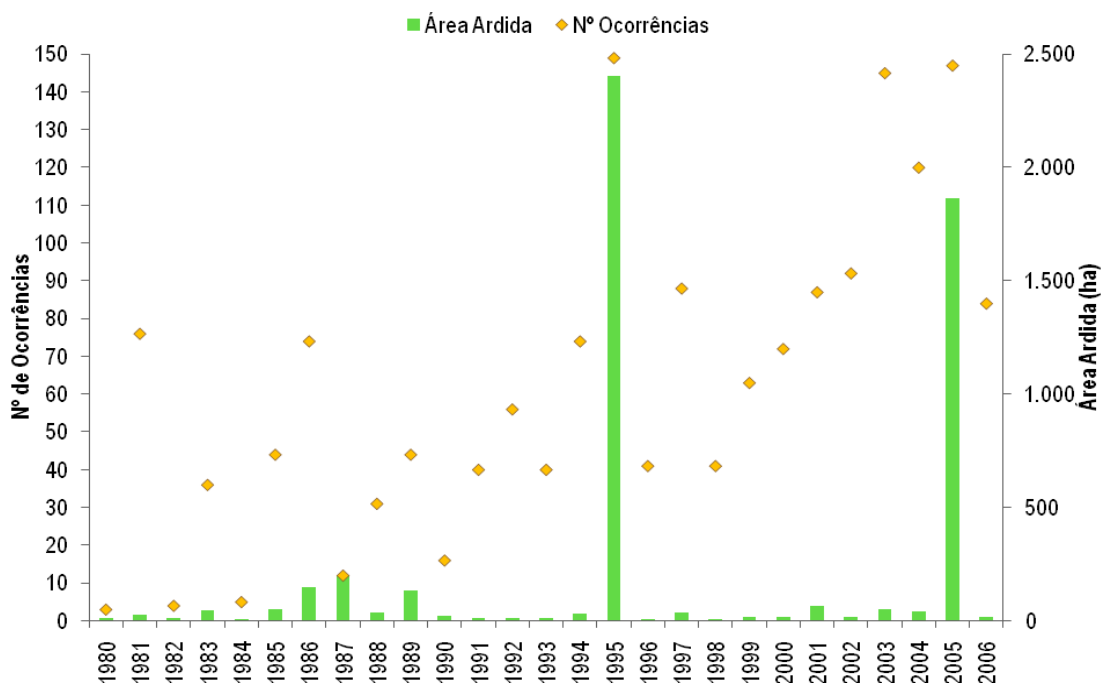


Figura 7. Evolução do número de ocorrências e área ardida para o período entre 1980 e 2006, no concelho de Albergaria-a-Velha.

O gráfico da Figura 7 apresenta um elevado número de ocorrências e um aumento generalizado desse número ao longo do tempo. Contudo ao maior número de ocorrências nem sempre corresponde uma maior área ardida. Para o período em análise, destacam-se os anos 1995 e 2005, com as maiores áreas ardidas, tendo ardido 2404 ha e 1865 ha, respectivamente. Relativamente ao número de ocorrências, estes também são os anos onde são registadas em maior número, 149 e 147, respectivamente.

Na Figura 8 apresentam-se os perímetros de incêndios para o concelho de Albergaria-a-Velha e os pontos de ignição que deram a origem a incêndios florestais (área ardida superior a 1 ha) entre os anos 2001 e 2008, no total 61 ignições.

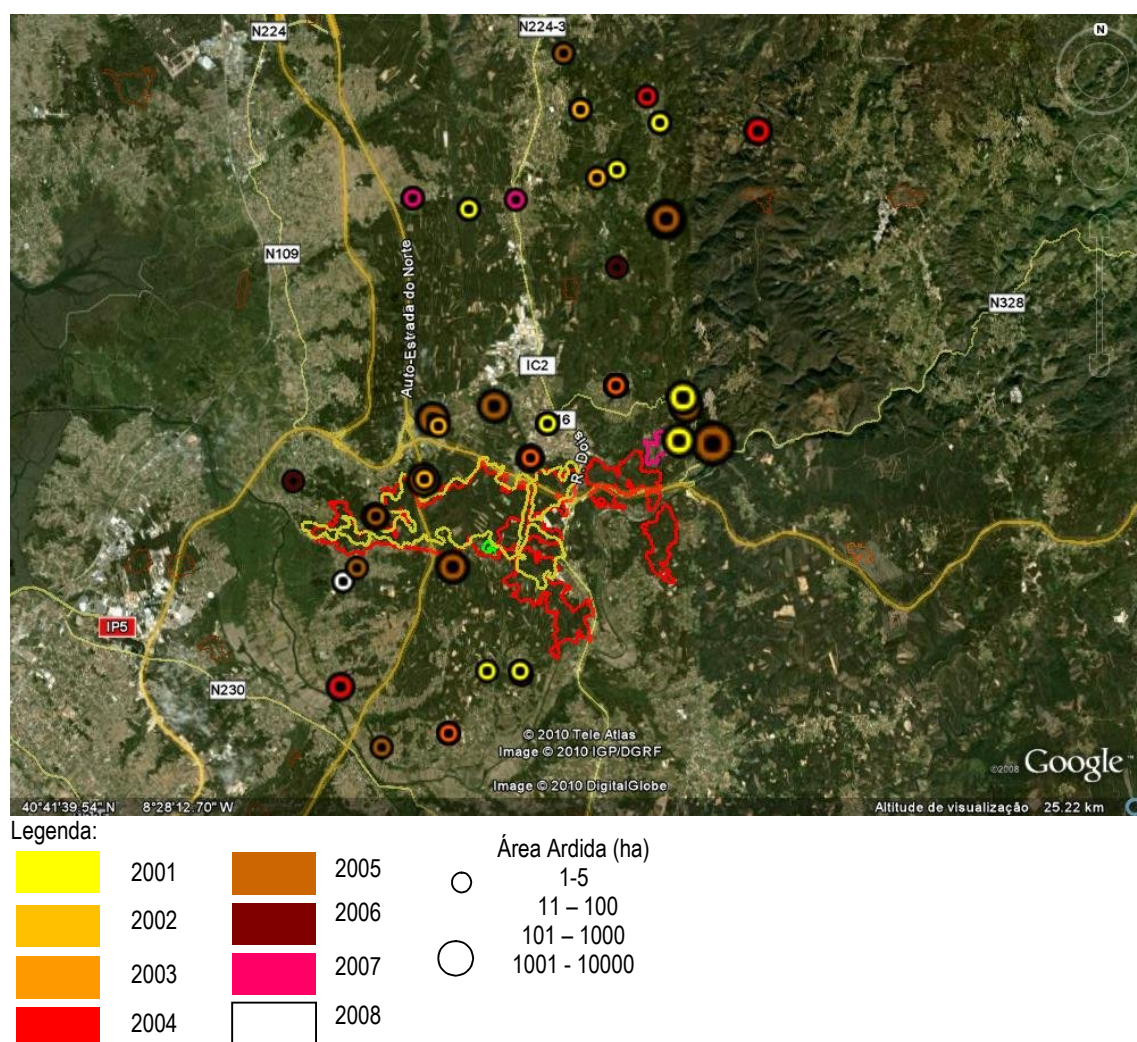


Figura 8. Representação do número de ocorrências por ano e por área ardida e respectivos perímetros de incêndio.



A Norte do concelho de Albergaria-a-Velha verificam-se fogos de pequenas dimensões, até 5 ha. Na faixa do concelho junto às vias rodoviárias (N16, N328, IC2 e A25) é onde se verificam o maior número de pontos de ignição. Existe sobreposição de vários pontos de ignição correspondentes a ocorrências quer do mesmo ano, quer de anos diferentes. Associada à área abrangida pelos perímetros de incêndio delineados, denota-se uma prevalência de pontos de ignição referentes a ocorrências do ano 2005, que se sobrepõem, sendo alguns fogos de dimensão significativa. Na Figura 9 pode observar-se a representação de perímetros de incêndios ocorridos entre os anos 1990 e 2008, obtidos através de uma aplicação do Google Earth® disponibilizada pela AFN, que se localizam sobretudo na zona Sul do concelho de Albergaria-a-Velha.

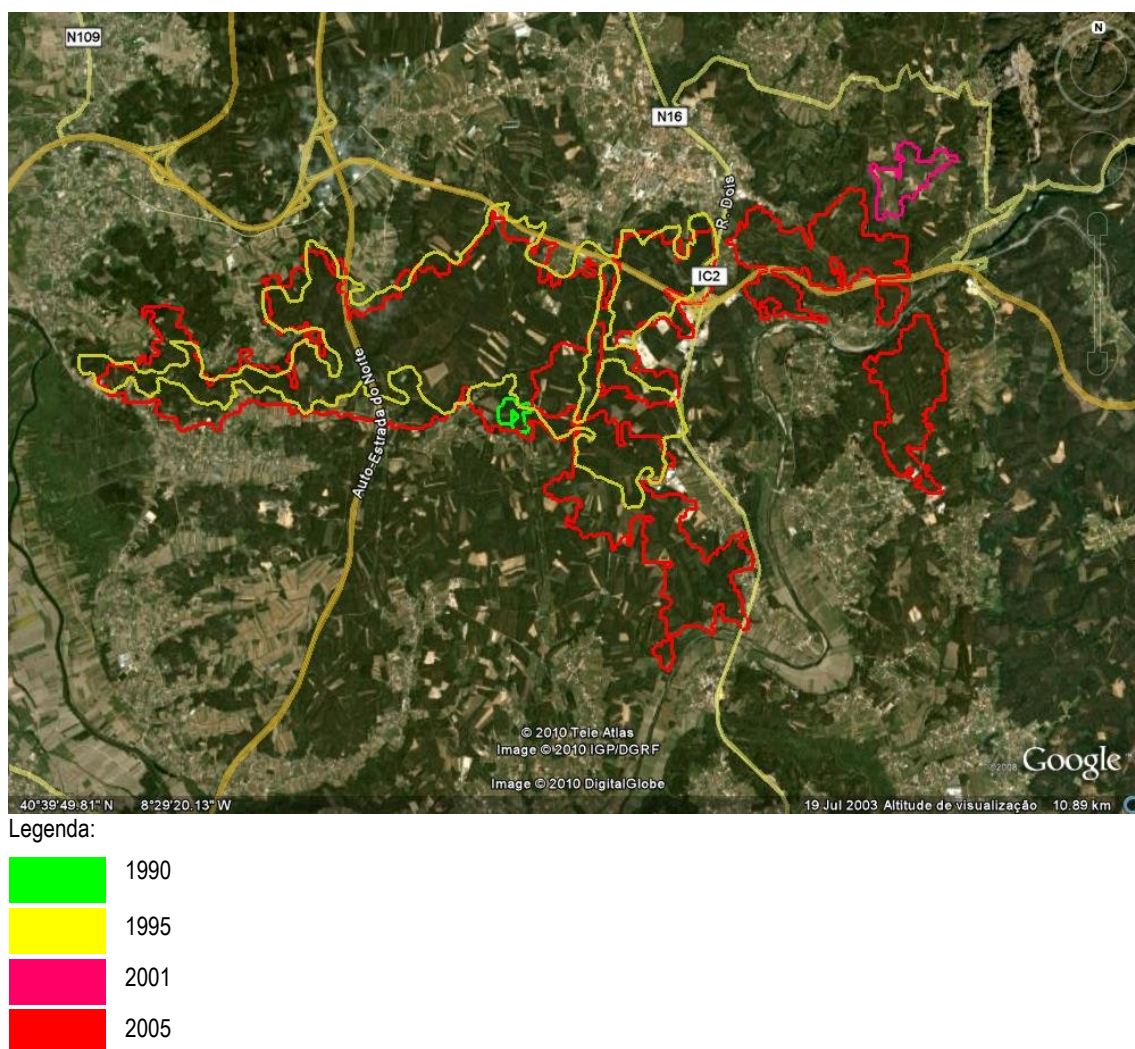


Figura 9. Representação do perímetro dos incêndios para os anos 1990, 1995, 2001 e 2005.

Os perímetros representados dizem respeito a todos os incêndios ocorridos no concelho nesse ano. Assim, em 1990, 1995 e 2001 apenas se registou um incêndio e em 2005 registaram-se 3 incêndios. Com a análise da cartografia dos perímetros de incêndio, pode observar-se a sobreposição de algumas áreas, isto é, zonas onde ardeu mais do que uma vez. Nos anos de 1995 e 2005 registaram-se os fogos de maiores dimensões.

Com esta análise constata-se a ocorrência de um elevado número de fogos, alguns resultando em grande área ardida. Denota-se que a deflagração de fogos incide em determinadas zonas, existindo mesmo fogos com o mesmo ponto de ignição, resultando em zonas que ardem repetidamente. No capítulo 5, irá analisar-se com mais detalhe este tipo de incêndio no concelho de Albergaria-a-Velha.

## 5. ANÁLISE DE INCÊNDIOS RECORRENTES EM ALBERGARIA-A-VELHA

No sentido de investigar a ocorrência de incêndios recorrentes no concelho de Albergaria-a-Velha e, atendendo à análise do capítulo anterior, procedeu-se ao agrupamento por local de ignição dos fogos registados para o período entre 2001 e 2008. O critério de junção passou por agrupar os fogos com a mesma coordenada geográfica de origem ou pontos situados na mesma linha de latitude ou longitude em distância inferiores a 1 km. Resultaram 17 grupos que foram considerados como sendo possíveis fogos recorrentes. Para cada fogo foram seleccionados factores considerados preponderantes na ocorrência de fogos, que permitissem encontrar repetições e/ou combinação de circunstâncias, de forma a estabelecer um padrão de recorrência. Os parâmetros seleccionados foram: a data e hora de alerta e extinção, a área ardida, o tipo de uso de solo consumido, os dados meteorológicos (velocidade e direcção do vento, temperatura, humidade relativa e precipitação acumulada), o FWI e a causa do incêndio, que se encontram reunidos no Anexo A.

Na Tabela 6 apresentam-se as recorrências por local de ignição e ainda o número de vezes que se repete um fogo em cada uma delas. Na primeira coluna identificam-se as recorrências pelo local e/ou freguesia onde se registam os incêndios. Na segunda coluna, a localização geográfica em coordenadas UTM representa a localização dos pontos de ignição em que se verifica a repetição.

Tabela 6. Agrupamento das recorrências.

Identificação	Localização Geográfica	
	X Y (m)	Nº de repetições
1. Alquerubim	168164; 405918 166423; 405561	4
2. Paus	170042; 407403 170000; 407500	4
3. Frias	168290; 410181	4
4. Azenhas/Marridas	165466; 409800 165820; 410144	2
5. Fontão	166306; 411461	2
6. São Marcos	167553; 412409	3
7. Srª do Socorro/Sobreiro	167789; 413966 167914; 413762	2
8. Assilhó	170274; 412948	2
9. Albergaria-a-Velha	170710; 413822	3
10. Valmaior	172646; 414789	9
11. Mouquim	174279; 414279	3
12. Carvoeiro	174983; 413343	2
13. Soutelo	167264; 419583	2
14. Vilarinho de São Roque	173777; 419066	2
15. Samuel/Cardeal	171986; 420095 172500; 420300	2
16. Telhadela	173269; 422169 173600; 421500	2
17. Espinheira	171567; 421838	2

Da análise da Tabela 6 e da Tabela A.1 do Anexo A não se consegue estabelecer uma relação causal entre os diversos parâmetros, nomeadamente, a hora e a duração da ocorrência, a área ardida, o tipo de uso de solo, os dados meteorológicos, o FWI e a causa do incêndio. Optou-se por explorar a análise com base em cada ocorrência e não na recorrência, fazendo ligação ao grupo de recorrência sempre que possível.

### 5.1. ANÁLISE POR LOCALIZAÇÃO

A partir da Tabela 6 elaborou-se a Tabela 7 que pretende demonstrar a frequência de recorrência associada à localização por freguesia.

Tabela 7. Frequência de recorrência por freguesia.

Freguesia	Frequência de Recorrências
Albergaria-a-Velha	5
Branca	3
Valmaior	3
Alquerubim	2
Ribeira de Fráguas	2
São João de Loure	2
Angeja	1
Frossos	1

A maior frequência (5) regista-se para a freguesia de Albergaria-a-Velha, a freguesia com mais população e maior densidade populacional. Logo de seguida, aparecem a freguesia da Branca e Valmaior com 3 recorrências. A freguesia da Branca é a segunda maior em termos de ocupação populacional. Assim, o facto de existirem vários registos nesta localidade pode estar associado à concentração de indivíduos no espaço. Por outro lado, a distribuição da área florestal nessas freguesias, ou mesmo a proximidade de vias rodoviárias, podem ser determinantes na explicação desta frequência. O factor etário pode ser também relevante em termos de rapidez de alerta e socorro, contribuindo para uma menor área ardida.

### 5.2. ANÁLISE TEMPORAL

Tal como referido anteriormente, os anos com mais ocorrências de incêndios foram os de 1995 e 2005. Com base na secção anterior constata-se que os anos 2001 e 2003 também registam um elevado número de fogos florestais. Neste ponto, irá analisar-se a distribuição mensal dos incêndios ocorridos (constantes das 17 recorrências) ao longo do período em análise. Na Figura 10 apresenta-se a distribuição mensal do número de ocorrências ao longo dos vários anos do período de análise.

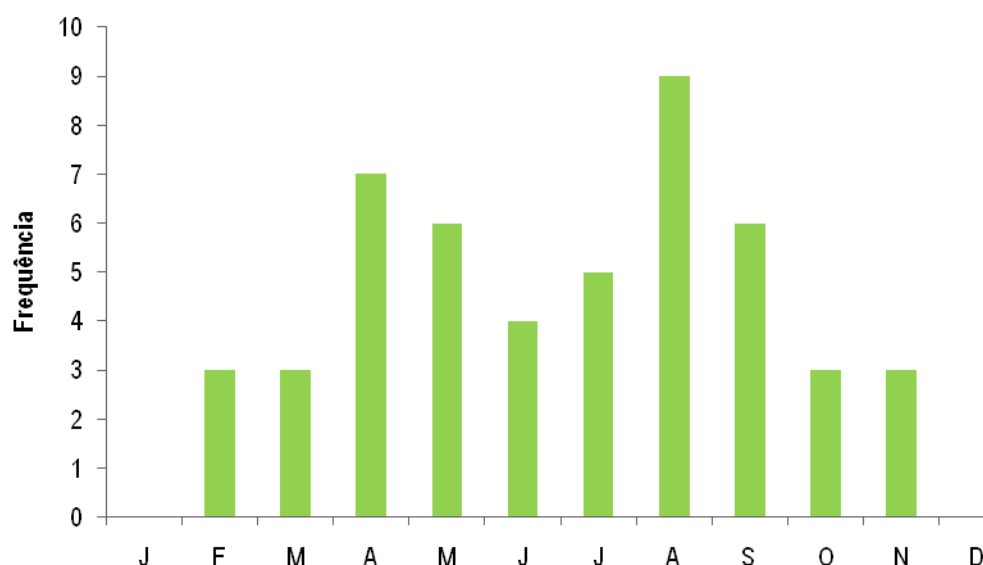


Figura 10. Distribuição mensal de número de incêndios.

A análise do gráfico da Figura 10 mostra a predominância de incêndios no período entre Abril e Setembro. O mês de Agosto é, sem dúvida, o que apresenta maior número de ocorrências. Porém deve destacar-se também o número de ocorrências elevado para os meses de Abril e Maio e ainda, Setembro. Os fogos parecem ser recorrentes nos meses de Primavera e Verão não se revelando muito comuns nos restantes meses. O gráfico da Figura 11 apresenta a relação entre a duração de cada fogo (do grupo das 17 recorrências) e a respectiva área ardida.

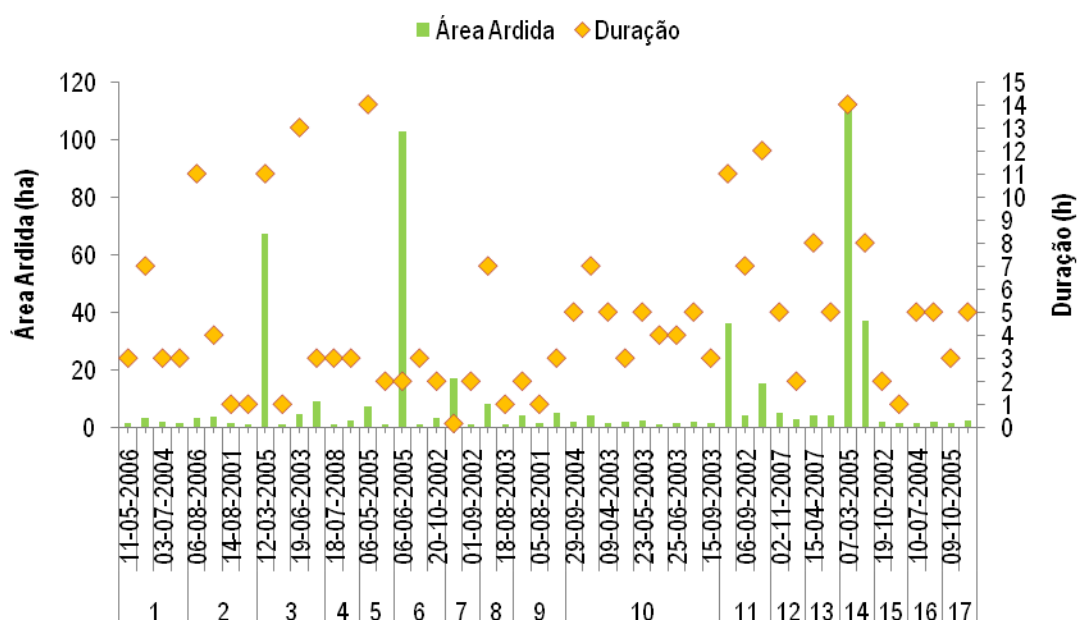


Figura 11. Relação entre a área ardida e a duração de cada ocorrência.

Os incêndios com uma área consumida inferior a 10 ha ardem, geralmente, cerca de 2h-3h, podendo alguns durar até 8h. Os incêndios com área ardida superior ardem durante 10h-14h. Contudo existem excepções, o incêndio de 6 de Julho de 2005 (recorrência 6) consumiu 103 ha em apenas 2h. Pelo contrário, a ocorrência de 6 de Maio de 2005 ardeu 12h resultando apenas em 7 ha. De ressaltar que a combinação dos restantes factores, como as características do terreno no local da ignição e as condições meteorológicas, a hora de início dos incêndios, os meios accionados e rapidez da reposta condicionam a duração do incêndio. Desta forma, a análise apenas da duração de cada ocorrência poderá ser redutora.

Analisando a área ardida de ano para ano, constata-se que se os fogos acontecem no mesmo ano, naturalmente, a área ardida resultante dos incêndios mais recentes é menor. Quando os incêndios acontecem com intervalo de um ano, existe alguma variabilidade na área ardida: se num ano a área ardida é pequena, no ano seguinte a área ardida aumentará, para ser precedida de um outro ano com menor área ardida. À medida que o intervalo de tempo aumenta, intervalos de tempo de 3 anos, pode constatar-se variação semelhante. Por exemplo, nos casos dos incêndios dos grupos de recorrência 16 e 17, os incêndios mais antigos tiveram uma área superior aos mais recentes. Pelo contrário, no caso dos incêndios do grupo de recorrência 11, também com frequência de 3 anos, o incêndio de 2005 teve uma área ardida de 36 ha em contraponto com o incêndio de 2002 que teve apenas 4 ha. O grupo de recorrência 2 apresenta incêndios com intervalo de 5 anos, mostrando que o incêndio de 2001 consumiu 1 ha foi seguido de um incêndio em 2006 com área ardida de 3 ha.

### 5.3. ANÁLISE POR CAUSA

A AFN classifica a causalidade dos incêndios em seis categorias: (1) uso de fogo, (2) acidentais, (3) estruturais, (4) incendiarismo, (5) naturais e (6) indeterminadas. Cada uma delas divide-se ainda em três níveis, que identificam a causa específica [URL 4]. A Figura 12 apresenta o gráfico com as causas detectadas para o total das 17 recorrências, verificando-se que se distribuem em negligente, intencional e indeterminada.

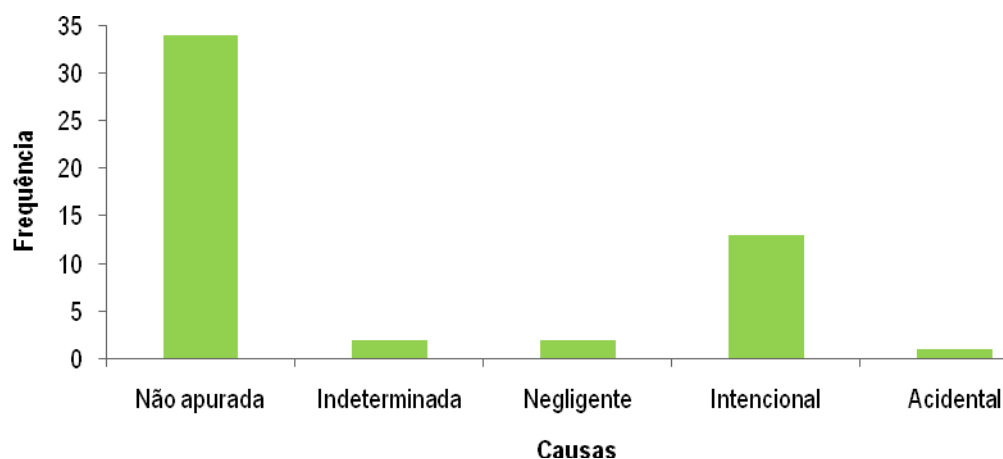


Figura 12. Distribuição da frequência de causas para as recorrências seleccionadas.

Na generalidade dos casos a causa do fogo florestal não é apurada (34). Contudo, quando a causa é apurada verifica-se a prevalência de origem intencional (13), por vandalismo. Nalgumas situações, a área ardida resultante das ignições foi significativa (114 ha, 103 ha, 67 ha e 37 ha). Duas das quais (114 ha e 37 ha) correspondem às ocorrências que formam a recorrência 14. As restantes ignições originaram fogos com área inferior a 10 ha. Os 2 casos de negligência referem-se a descuidos com queimadas para limpeza do solo florestal e resultaram em áreas ardidas pequenas (<10 ha). O único caso acidental diz respeito a uma ignição devido a faísca de linhas eléctricas, sendo responsável pelo consumo de 36 ha de floresta.

#### 5.4. ANÁLISE POR TIPO DE VEGETAÇÃO

O tipo de uso de solo condiciona não só as condições de ignição bem como após a deflagração, o comportamento do fogo é, portanto, conveniente perceber o uso de solo a que estão associadas as diversas ocorrências. No gráfico da Figura 13 estão assinalados os tipos de uso de solo em classificação Corine Land Cover associados a cada ocorrência.



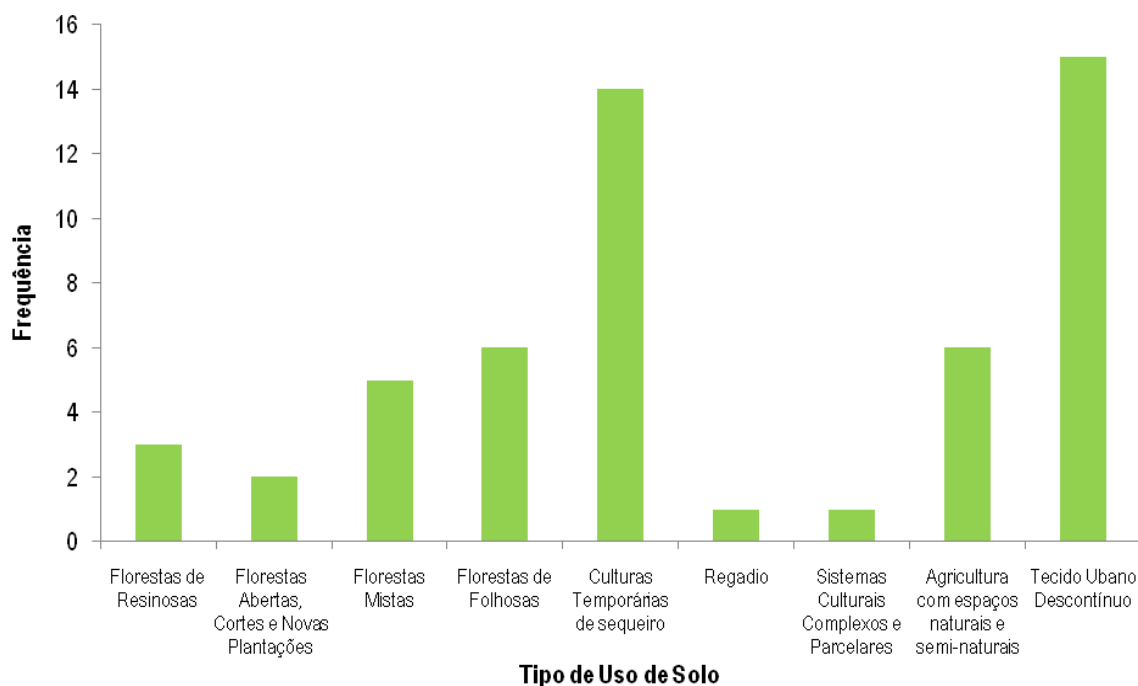


Figura 13. Distribuição do número de ocorrências por tipo de uso de solo.

A maioria das ocorrências (15) refere-se a ignições com origem em tecido urbano descontínuo das freguesias de Albergaria-a-Velha, Ribeira de Fráguas e Valmaior. A área ardida resultante das ignições nas freguesias de Albergaria-a-Velha e Valmaior é, contudo, pequena (<5 ha). As ignições da freguesia de Ribeira de Fráguas correspondem à recorrência 14 e resultaram em áreas ardidas superiores.

O segundo maior número de ocorrências (14) regista-se em culturas de sequeiro. Este valor pode ser explicado pelo maior grau de inflamabilidade deste tipo de combustível. Ainda assim, a área ardida destes fogos é pequena, inferior a 10 ha, excepto no caso da ocorrência de 13 de Março de 2005 da recorrência 3, com 67 ha ardidos. Associado aos espaços agrícolas com espaços naturais, isto é, que possui mato e outros povoamentos além das espécies cultivadas, contam-se 6 registos. As florestas de folhosas são as que registam maior número de ocorrências, se comparadas com os restantes tipo de cobertura florestal, provavelmente porque é o tipo de povoamento que ocupa a maior área (83%) do concelho de Albergaria-a-Velha.

### 5.5. ANÁLISE DOS DADOS METEOROLÓGICOS

Dada a inexistência de uma estação meteorológica em Albergaria-a-Velha, foram seleccionadas outras duas estações meteorológicas de forma a recolher dados que caracterizassem o mais fielmente possível as condições meteorológicas do caso de estudo. Os dados meteorológicos que a seguir se apresentam são os recolhidos na estação da Universidade de Aveiro, uma vez que a estação de Barragem de Castelo de Burgães não cobria todo o intervalo temporal. Para o ano 2003 não foram obtidos dados pela estação da Universidade de Aveiro. O gráfico da Figura 14 indica o número de ocorrências registadas por quadrante de direcção de vento.

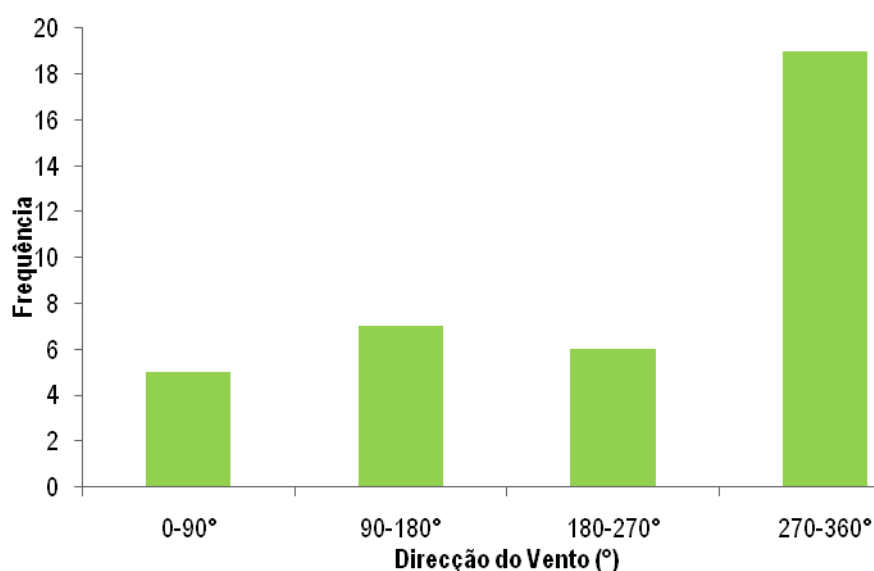


Figura 14. Distribuição das ocorrências segundo a direcção de vento.

O maior número de ocorrências registado, 19, diz respeito a dias em que o vento dominante é do quadrante Norte e Noroeste, ou seja, a direcção de que habitualmente se faz sentir o vento no concelho de Albergaria-a-Velha. A frequência seguinte (7) indica ventos de Sudeste, que também são predominantes na zona.

Do quadrante Sudoeste registam-se 6 ocorrências, tendo algumas vezes originado incêndios com dimensões relevantes (103 ha, 67 ha), nos meses de Junho e Março, respectivamente.

O vento de quadrante nordeste foi identificado em 5 ocorrências. A ocorrência que maior área ardida (114 ha) produziu, está associada a vento de direcção Este no dia 7 de Março 2005 (recorrência 14), vento quente e seco, que está associado a grandes incêndios [Hoinka et al., 2009].

Os restantes fogos associados a este grupo de recorrência ocorreram nos meses de Maio, Agosto e Novembro, mas não resultaram em área ardida significativa.

A Figura 15 apresenta o gráfico com a distribuição do número de ocorrências em função da velocidade do vento.

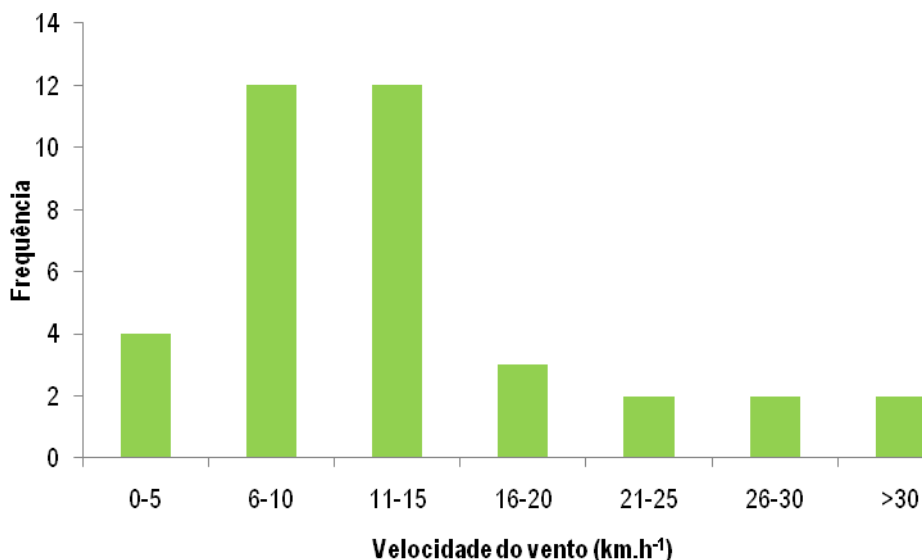


Figura 15. Distribuição das ocorrências em função da velocidade do vento.

As frequências mais altas são registadas para velocidades de vento baixas enquanto as frequências mais baixas para velocidades superiores, ou seja, registam-se poucos incêndios em dias de velocidade de vento elevada. Nos dias em que se registaram 46 km.h<sup>-1</sup> (6 Novembro) e 76 km.h<sup>-1</sup> (5 Agosto), a área consumida foi de 15 ha e 1,5 ha. Para fundamentar estes valores de área ardida é necessário analisar os restantes parâmetros meteorológicos. No dia 6 de Novembro de 2001, perto da 1h00 registaram-se 15°C de temperatura e 51% de humidade relativa, tendo-se registado o aumento da temperatura e diminuição da humidade ao longo do dia, até que às 12h00 se registaram 17°C de temperatura e 47 % de humidade com o vento a soprar de Nordeste. Sendo Novembro, a temperatura é alta e a humidade relativa é baixa, pelo que conjugando todos os parâmetros se explica a área ardida verificada. No dia 5 de Agosto de 2001 registaram-se 17°C de temperatura média, 87% de humidade relativa e o vento soprava de Sudoeste. Em contraponto com o mês de Novembro, para o mês de Agosto e para a hora de alerta (aproximadamente às 13h37, registaram-se 19 °C e 76%) é uma temperatura baixa e a humidade relativa bastante alta. Para os dias destacados na secção anterior, dia 7 de Março, em que arderam 114 ha, a velocidade do vento, registou 18 km.h<sup>-1</sup>, bastante baixa quando comparada com os dias acima analisados. Também para

os dias em que arderam 103 ha (6 Junho 2005) e 67 ha (12 Março 2005) o vento soprou fraco com  $11 \text{ km.h}^{-1}$  e  $5 \text{ km.h}^{-1}$ , respectivamente.

A Figura 16 mostra a distribuição do número de ocorrências em função da humidade relativa.

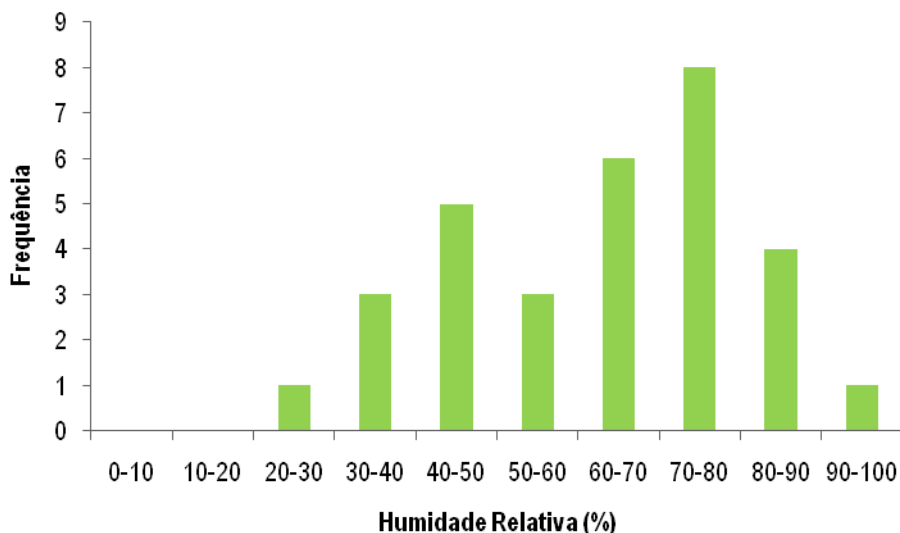


Figura 16. Distribuição do número de ocorrências em função da humidade relativa.

A partir da Figura 16 pode depreender-se que a humidade relativa é normalmente elevada, na maioria dos casos situando-se entre os 60-90%. De uma forma geral, sempre que a humidade é superior a 60% a área ardida é pequena. No entanto, verificam-se algumas excepções: o dia 6 Junho (107 ha) e o dia 21 de Fevereiro (36 ha). O dia 6 de Junho já foi analisado nas secções anteriores. Para o dia 21 de Fevereiro a temperatura foi de  $9^{\circ}\text{C}$  e 65 % de humidade relativa, com vento a soprar de noroeste a  $21 \text{ km.h}^{-1}$ . Com base nos parâmetros meteorológicos não se reuniriam condições preponderantes de risco de incêndio. O facto de a causa ser accidental, devido a faísca por descarga eléctrica da rede de electrificação, pode ter atrasado a detecção do foco de incêndio e devido a velocidade do vento registada a progressão do fogo evoluiu rapidamente, conduzindo assim a um fogo de maiores dimensões.

Na Figura 17 apresenta-se a distribuição do número de ocorrências de acordo com a variação da temperatura.

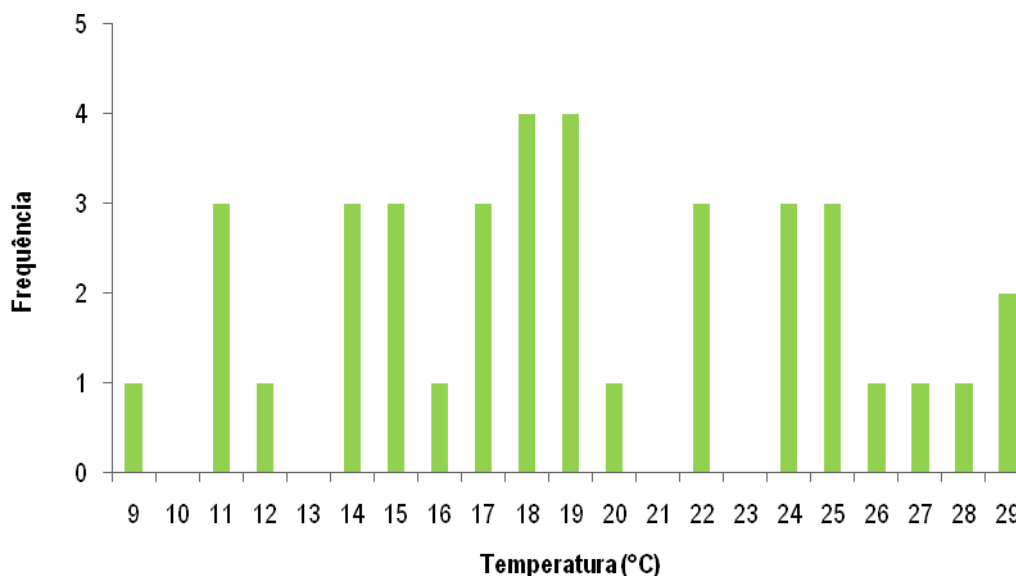


Figura 17. Distribuição de ocorrências em função da temperatura.

A frequência de ocorrências em função da temperatura apresenta uma distribuição mais uniforme. No entanto, as temperaturas mais elevadas não foram registadas com muita frequência (apenas 1, 2 ou 3 vezes) e correspondem aos meses de Maio a Outubro, que são geralmente os meses mais quentes do ano. Em Setembro foram registados 29°C, e em Agosto 28°C mas os incêndios para essas condições tiveram área ardida inferior a 2 ha. Contudo, como a localização dos focos de Setembro se situava em tecido urbano, o vento soprava fraco (11 km.h<sup>-1</sup> e 5 km.h<sup>-1</sup>) e a humidade relativa era elevada (66% e 79%), a temperatura elevada não foi suficiente para a deflagração de um incêndio com área ardida significativa. Relativamente aos 3 casos de maior área ardida: 7 Março 2005, 6 Junho 2005 e 12 Março 2005 não apresentam valores elevados de temperatura média (11°C, 22°C e 16°C) para os meses a que corresponde, o que leva a concluir que os restantes factores analisados terão tido um papel mais importante na deflagração e progressão do incêndio do que a temperatura.

#### 5.6. ESTIMATIVA E ANÁLISE DO FWI

A análise dos parâmetros meteorológicos per si não foi suficiente para fundamentar as condições de ocorrência de fogos recorrentes. O índice meteorológico de risco de incêndio pode complementar esta análise e verificar se a combinação dos factores meteorológicos produz efeitos na vegetação que conduzem à deflagração de incêndios. A Figura 18 apresenta a relação entre a área ardida e o FWI para todas as ocorrências registadas, para os 17 grupos de recorrências.

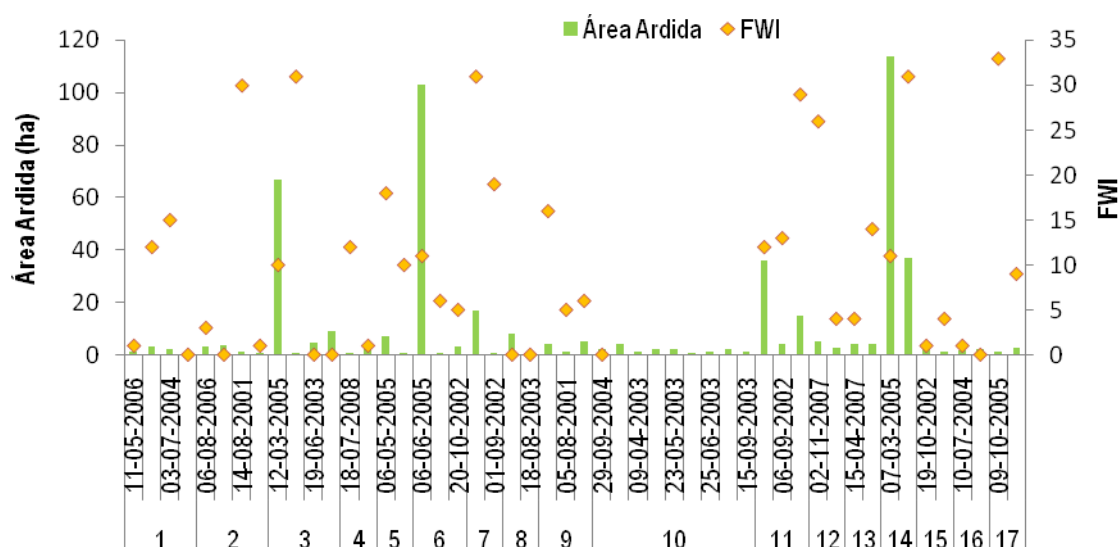


Figura 18. Relação entre área ardida e FWI para cada ocorrência.

De uma forma geral, com a análise da Figura 18, não existe uma relação directa entre o FWI e a área ardida. Portanto, por si só o FWI pode não ser suficiente para explicar a ocorrência de incêndios recorrentes. De seguida, analisar-se-ão alguns grupos de recorrência separadamente. Por exemplo, na Figura 19 mostram-se as ocorrências: a 7 de Março e 22 de Agosto do ano 2005, agrupadas como sendo a recorrência 14. Esta recorrência tem o mesmo ponto de ignição, contudo a deflagração ocorre a diferentes horas do dia, 10h e 16h30, respectivamente.

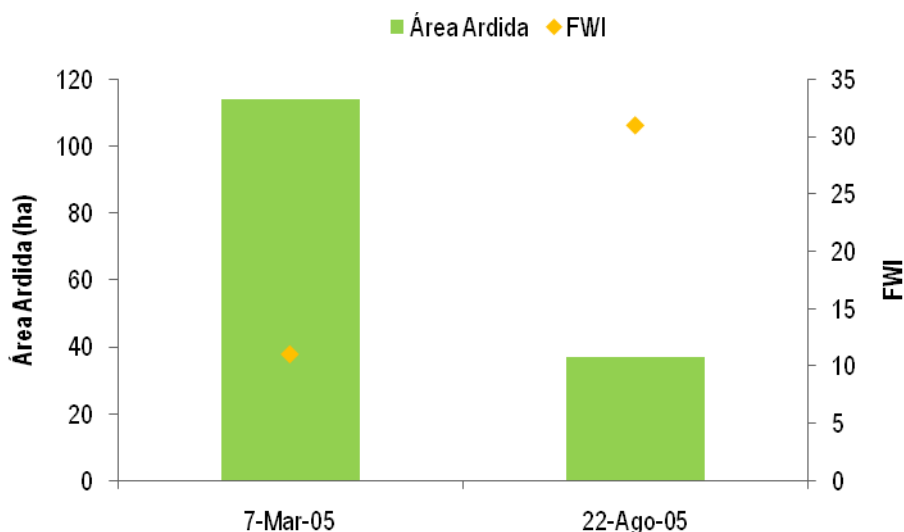


Figura 19. Relação entre a área ardida e FWI para a recorrência 14.

Quando se regista uma área ardida bastante elevada (114 ha) que é consumida em 14h, o FWI registado é 11, situado no limiar do baixo risco para esta região do país. Pelo contrário, quando o FWI regista um nível de perigosidade alto (31), a área ardida registada é bastante inferior (37 ha) sendo consumida em 8h.

Dado que o FWI se baseia em medições das 12h locais, reflectindo as alterações cumulativas no combustível das condições meteorológicas para um período de um dia, o efeito de condições meteorológicas pontuais pode não ser detectável. Assim, a análise horária das variáveis meteorológicas para cada dia de ocorrência pode ser uma forma expedita de detectar condições específicas que estiveram na origem da deflagração de tais incêndios.

A Figura 20 mostra a evolução temporal das variáveis meteorológicas para o dia 7 de Março.

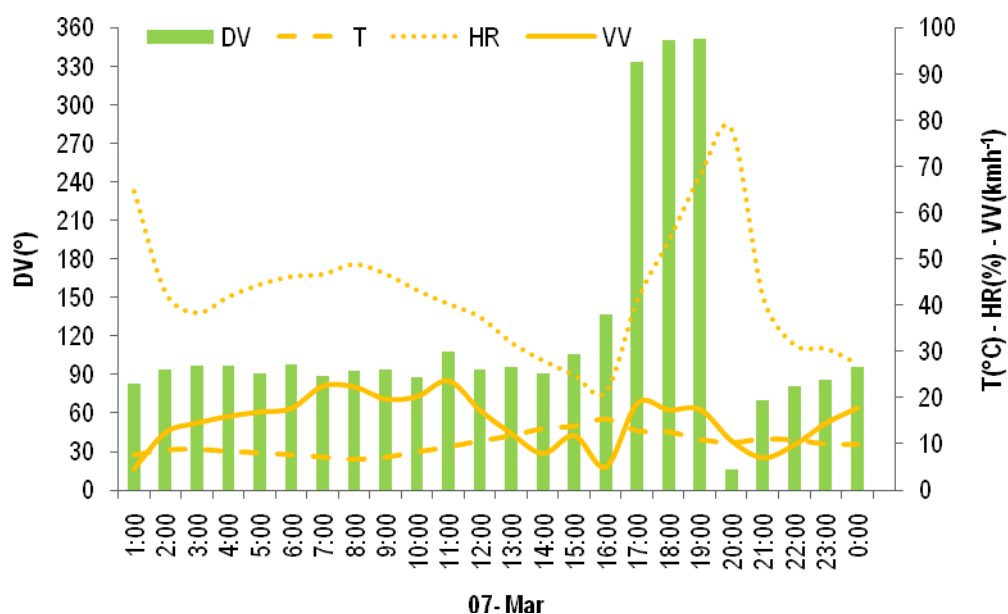


Figura 20. Dados meteorológicos horários medidos na estação da UA para o dia 7 de Março de 2005.

Para o dia 7 de Março a humidade relativa regista valores baixos (inferiores a 50%). A temperatura média encontra-se na gama normal para a altura do ano. Contudo, a acrescer aos valores baixos de humidade podem observar-se valores significativos da velocidade do vento (a rondar os 20 km.h<sup>-1</sup>), que sopra de Leste. O vento de Leste mantém-se desde a 1h00 até às 15h00 e é acompanhado de valores de humidade relativa baixos, período durante o qual se dá a deflagração do incêndio. A partir das 16h00, o vento roda para Norte, observando-se o aumento progressivo da humidade

relativa. As condições meteorológicas aqui descritas permitem fundamentar a hora de ignição do incêndio e a sua extensão. A Figura 21 mostra a mesma informação para o dia 22 de Agosto.

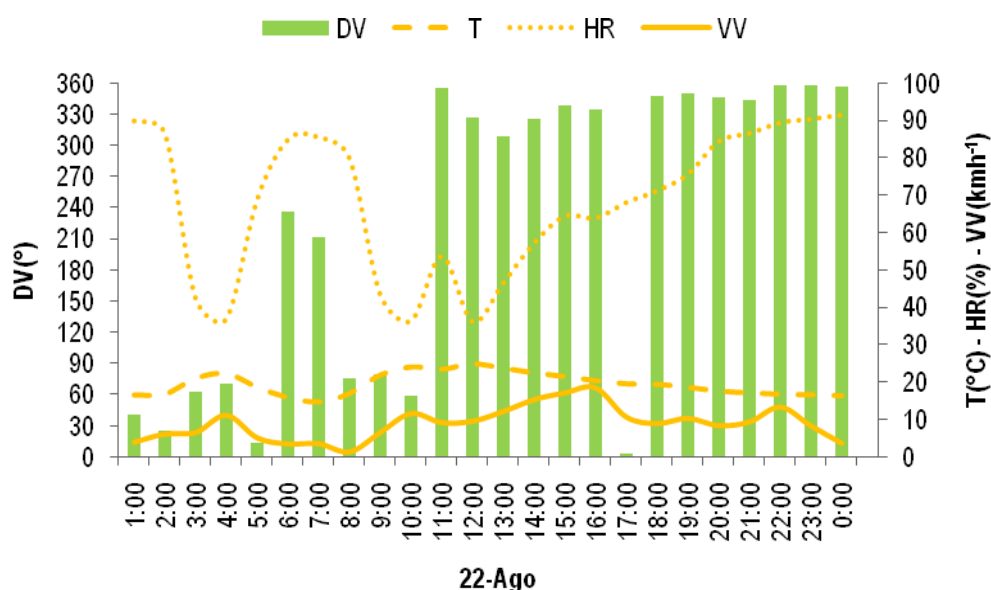


Figura 21. Dados meteorológicos horários para o dia 22 de Agosto de 2005.

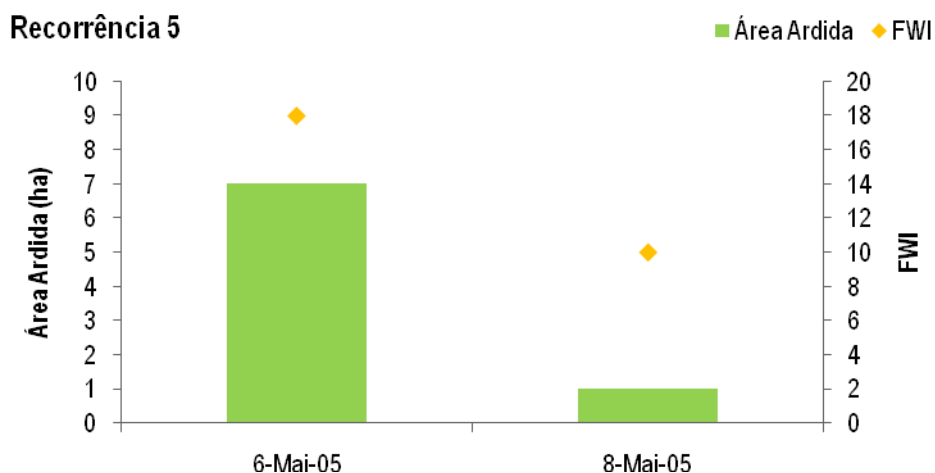
Para o dia 22 de Agosto, como o vento é sobretudo do quadrante Norte, estão associadas condições de humidade relativa mais elevadas acompanhada de valores de temperatura mais baixos. Deste modo, as variáveis meteorológicas não se combinam de forma a gerar condições favoráveis à ocorrência de incêndios. Contudo, para a hora em que o FWI é calculado, 12h, verifica-se uma diminuição da humidade relativa, acompanhado de um ligeiro aumento da temperatura, e de uma forma geral para o período anterior verificou-se uma variação semelhante, o que pode condicionar os resultados do FWI e justificar o valor elevado para este índice.

Com a análise dos gráficos do anexo B, com a mesma informação, relativos às recorrências 3 e 6 esta situação repete-se, ou seja, o FWI corresponde a um índice de baixo risco ( $FWI \approx 10$ ) em ambos os casos, as condições meteorológicas não justificam a dimensão da área ardida.

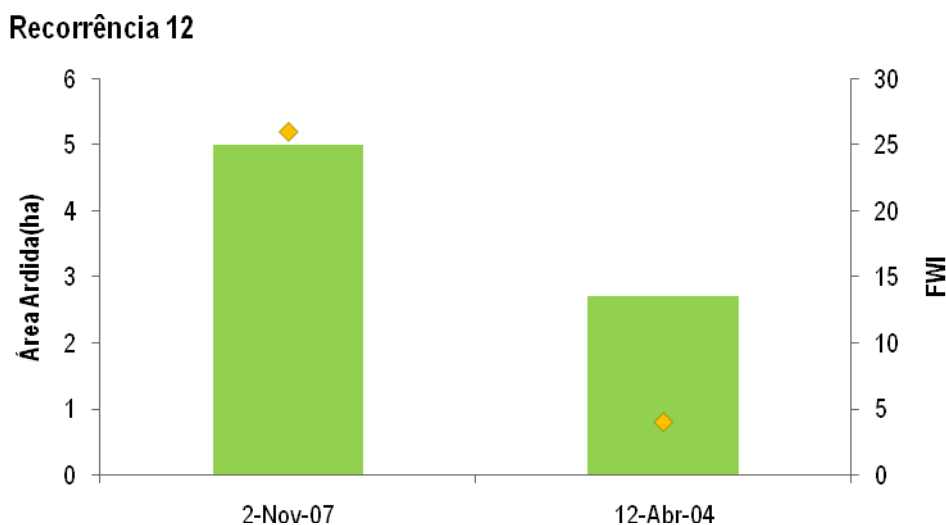
De uma forma geral a análise da relação área ardida e FWI das restantes recorrências agrupadas não é conclusiva. O que se verifica é que as áreas ardidas são relativamente pequenas, geralmente inferiores a 10 ha ou mesmo 5 ha e traduzem-se em índices de risco também baixos. O padrão observado na recorrência 14 é comum a todas as outras, não existe uma relação linear entre a área ardida e o FWI. Assim, valores elevados de FWI nem sempre dão origem a fogos de dimensão relevante e vice-versa.



Pontualmente, registam-se recorrências onde a área ardida varia de forma directa com o FWI, isto é, quando o FWI aumenta a área ardida também aumenta. Tomem-se como exemplo as recorrências 5 e 12, que se apresentam na Figura 22.



a)



b)

Figura 22. Relação entre a área ardida e o FWI para as recorrências a) 5 e b) 12.

No caso da Recorrência 5, a classe de risco situa-se numa gama de risco baixo a moderado e os incêndios ocorridos são de pequenas dimensões. A primeira ocorrência regista-se quando o FWI é igual a 18 e foram consumidos cerca de 7 ha seguida de uma segunda ocorrência em que se

verificou a diminuição do FWI para 10 tendo ardido apenas 1 ha. Para o grupo 12 de recorrência, a ocorrência de 12 de Abril de 2004 resultou numa área ardida de 2,7 ha quando o risco de incêndio se situava na classe de risco baixo. Na data da segunda ocorrência, de 2 de Novembro de 2007, o risco de incêndio era alto e arderam 5 ha.

A relação entre a área ardida e o FWI para as restantes recorrências encontra-se nas figuras do Anexo B.

#### 5.7. COMENTÁRIOS FINAIS

Os diferentes factores envolvidos no comportamento dos fogos recorrentes parecem actuar de forma aleatória, não tendo sido possível estabelecer uma relação significativa entre eles, que permita definir uma situação-padrão dentro de uma mesma recorrência. Por outro lado, não existe nenhum factor que se destaque. Em termos meteorológicos, as condições registadas, não apresentam padrão fora da normalidade para a época e localização a que se referem. Embora, seja importante ressaltar o uso de uma estação meteorológica localizada num ambiente bastante distinto do concelho de Albergaria-a-Velha. Os valores de FWI situam-se, geralmente, numa classe de risco baixa. Pontualmente, são registados valores de risco mais significativo, mas nem sempre ocorreram grandes fogos nesses dias. Quanto à área ardida, são incêndios de pequenas dimensões, existindo pontualmente um incêndio com área superior.

O número de ignições pode ser explicado pela localização em freguesias mais populosas e em locais de fácil acesso. Por outro lado, essas condições poderão estar associadas à detecção e resposta mais rápidas, justificando a área ardida reduzida. Acresce que, a elevada frequência com que os incêndios ocorrem, contribuirá para reduzir a quantidade de combustível disponível para arder de ano para ano.

Finalmente, e tendo em conta, a quantidade de dados disponíveis para análise, os incêndios recorrentes parecem não constituir um particular risco para o concelho de Albergaria-a-Velha.

## 6. ANÁLISE DO INCÊNDIO CÍCLICO EM ALBERGARIA-A-VELHA

As principais características do incêndio cíclico são a sua baixa frequência e grande dimensão. Da análise efectuada no capítulo 4 e, tendo em conta estas características, no concelho de Albergaria-a-Velha, parecem ter ocorrido dois incêndios, em 1995 e 2005, que podem ser considerados cíclicos e que irão ser estudados neste capítulo. Dada a ausência de dados meteorológicos para o ano de 1995, neste capítulo apenas se irá analisar o incêndio do ano de 2005. A análise consiste em duas etapas: análise do FWI e dos parâmetros meteorológicos e análise do comportamento do fogo, recorrendo ao modelo FARSITE.

A informação recolhida no Plano Municipal de Emergência, indica que estes incêndios ocorreram nos meses de Março/Abril. A ignição deu-se a uma sexta-feira, por volta das 2h00. As condições meteorológicas resultam de uma sequência de 2 dias de humidade relativa baixa, propiciada por ventos de Leste, que sopram nesses dias a velocidades muito elevadas.

Segundo o Plano Municipal de Emergência de Albergaria-a-Velha, o incêndio de 1995 decorreu entre as 2h30 do dia 14 de Abril e as 19h00 do dia 15 de Abril. No início da deflagração do fogo, o vento tinha direcção Nordeste e velocidade elevada, o que proporcionou uma elevada velocidade de progressão de fogo para sudoeste. A velocidade do vento favoreceu a existência de fogo de projecção, que originou diferentes focos de incêndios e desenhou várias frentes de incêndio. O valor da humidade relativa para o período do incêndio rondava os 30-40%. O valor do FWI para este dia era 29, que para o distrito de Aveiro, classifica-se como risco alto.

De acordo com a informação do relatório de incêndio fornecido pelos Bombeiros Voluntários de Albergaria-a-Velha (no Anexo C), o incêndio de 2005 terá ocorrido entre 8 e 14 de Julho, iniciando-se às 3h00. No entanto, a informação da AFN aponta para o início do fogo às 14h00 do dia 6 de Julho e fim para as 19h30 do mesmo dia.

Na Tabela 8 estão reunidos os parâmetros registados na deflagração do incêndio de 1995, descritos no Plano Municipal de Emergência do concelho e, das datas apontadas para o início do incêndio de 2005, pela AFN (2005a) e pelo relatório de incêndios (2005b).

Tabela 8. Compilação de dados meteorológicos relevantes.

	1995	2005a	2005b
Data	14 Abril	6 Julho	8 Julho
Dia da Semana	6 <sup>a</sup> feira	4 <sup>a</sup> feira	6 <sup>a</sup> feira
Hora de Início	2h30	14h00	5h00/6h00
Direcção de Vento	Nordeste (59°)	Norte (356°)	Nordeste (79°)
Velocidade do Vento	28 km.h <sup>-1</sup>	9 km.h <sup>-1</sup>	27 km.h <sup>-1</sup>
Humidade Relativa	Baixa (40%)	Elevada (85%)	Baixa (27%)
FWI	29	22	40

A data de ocorrência dos dois incêndios é distinta. O incêndio de Julho de 2005 acontece na época estival, considerada como época habitual de incêndios. O incêndio de Abril de 1995 ocorreu na Primavera, período em que, em Portugal, também é habitual a deflagração de alguns incêndios florestais.

As condições meteorológicas nas duas ocorrências são semelhantes, a velocidade e direcção de vento são equivalentes e o mesmo acontece com a humidade relativa e precipitação. O FWI estimado para o dia 8 de Julho é relativamente superior ao registado no incêndio de 1995.

O ponto de ignição do incêndio de 1995 está localizado na freguesia de Ribeira de Fráguas. Já o ponto de ignição do incêndio de 2005 está localizado na freguesia de Valmaior. Contudo, esta discrepância pode não ser relevante já que são freguesias vizinhas e os limites administrativos podem não ser significativos para esta análise. Seria útil perceber com objectividade o ponto de ignição para os dois incêndios. Contudo, para o incêndio de 1995 não é possível obter essa informação.

#### 6.1. ANÁLISE DOS FACTORES METEOROLÓGICOS

De acordo com a estratégia definida, nesta secção analisar-se-ão os parâmetros meteorológicos e, de seguida, o comportamento do índice de risco para o incêndio de 2005.

Os dados meteorológicos para aplicação no caso de estudo foram obtidos pela estação automática do parque meteorológico da Universidade de Aveiro e são referentes às medições das 12h. A estação está localizada no Campus da Universidade de Aveiro, junto às salinas. Esta localização confere-lhe características particulares, dado que sofre os efeitos da evaporação da água salina e dos ventos dominantes do quadrante Norte [URL 5].

Adicionalmente, utilizaram-se os dados meteorológicos da estação automática climatológica da Barragem de Castelo Burgães (Vale de Cambra) disponíveis na base de dados do Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH). A estação está integrada na rede meteorológica de monitorização da Bacia do Vouga/Ribeiras Costeiras, sendo da responsabilidade conjunta do Instituto Nacional da Água (INAG) e Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDRN) [URL 6]. Na Figura 23 apresenta-se o mapa com a localização das duas estações meteorológicas e de Albergaria-a-Velha.

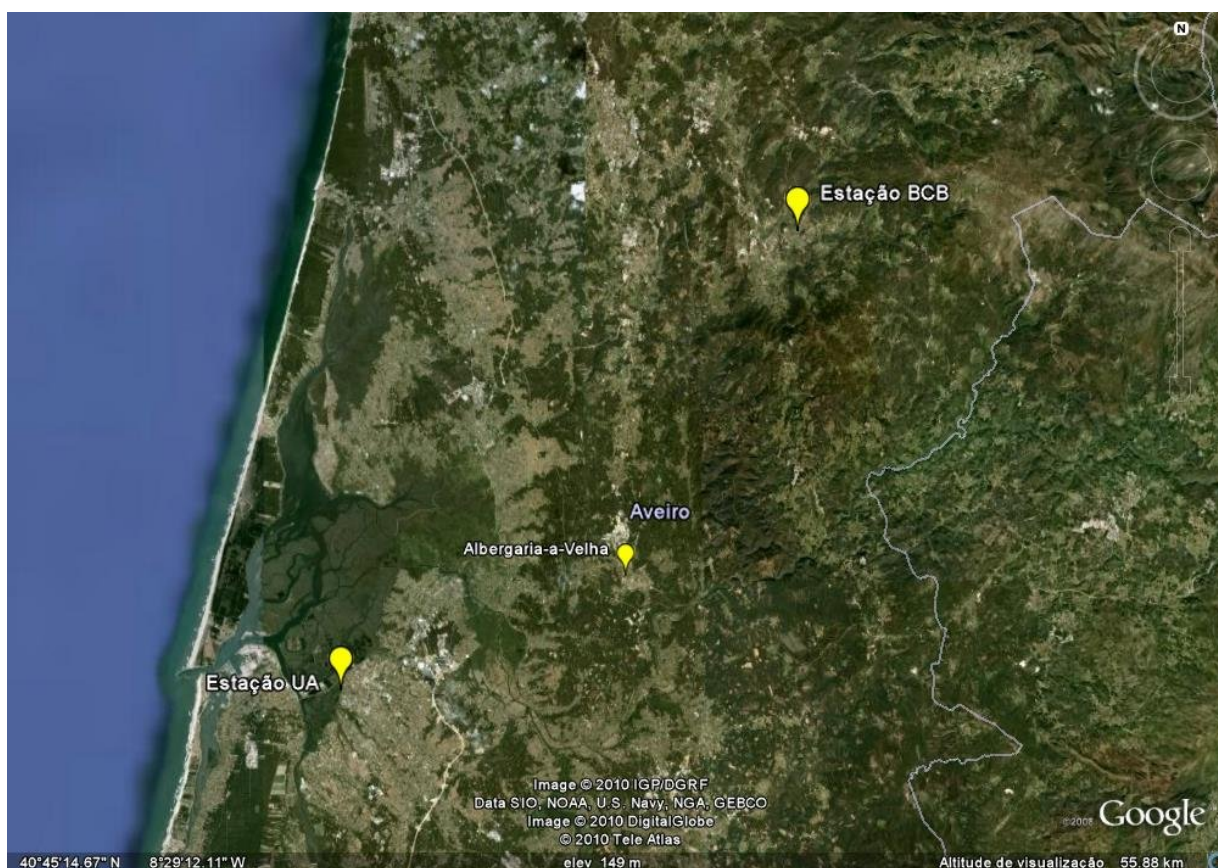


Figura 23. Localização de Albergaria-a-Velha e das estações meteorológicas de Barragem de Castelo Burgães (BCB) e Universidade de Aveiro (UA).

Na Tabela 9 apresentam-se as principais características geográficas de cada Estação.

Tabela 9. Principais características das estações meteorológicas.

	Estação da Universidade de Aveiro	Estação de Barragem de Castelo de Burgães
Coordenadas UTM	155346; 407689 m	179250; 431546 m
Altitude	3 m	306 m

A utilização de ambas as estações pretende caracterizar melhor as condições meteorológicas particulares do caso de estudo, uma vez que Albergaria-a-Velha é um concelho da faixa interior do distrito de Aveiro, que possui características meteorológicas distintas das registadas pelas estações meteorológicas da faixa litoral.

A análise da variação horária dos factores meteorológicos permitirá conhecer melhor a conjugação dos parâmetros meteorológicos que conduziram à deflagração do incêndio. Poder-se-á averiguar a data de ocorrência do incêndio, tentando esclarecer o equívoco criado pela informação da AFN e relatório de incêndio. Nesta secção far-se-á uma análise para os dados meteorológicos obtidos na estação de Barragem de Castelo Burgães semelhante à análise feita para os dados meteorológicos fornecidos pela estação meteorológica da Universidade de Aveiro. E finalmente, far-se-á uma análise comparativa entre os dados das duas estações.

Na Figura 24 estão reunidos os dados meteorológicos registados nos dias 6, 7 e 8 de Julho na estação meteorológica da Universidade de Aveiro.

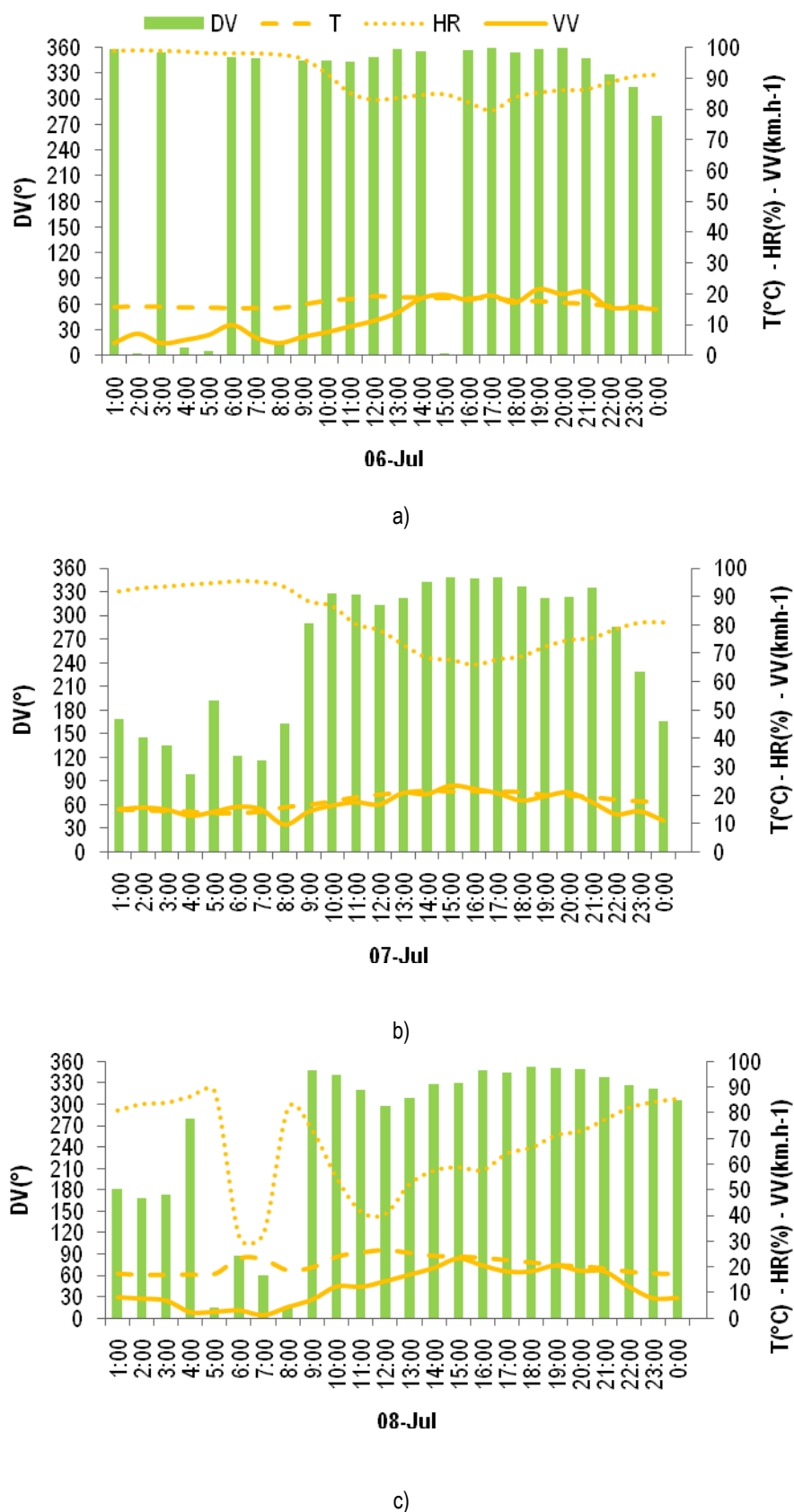


Figura 24. Dados meteorológicos registados na estação da Universidade de Aveiro para os dias a) 6 de Julho; b) 7 de Julho; e c) 8 de Julho de 2005.

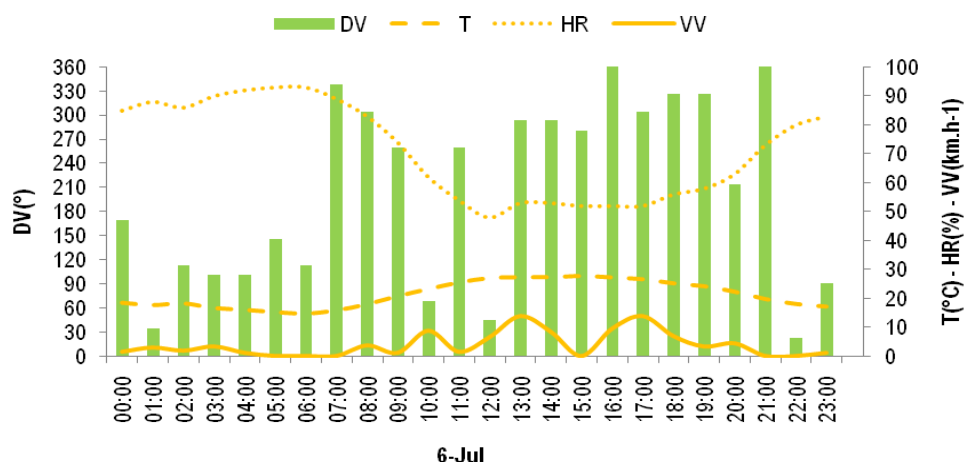
No dia 6 de Julho, registam-se ventos predominantes de Norte com velocidade a variar entre os 5 e 20 km.h<sup>-1</sup>. A humidade relativa apresenta valores bastante elevados (acima dos 80%); no período da noite observam-se os valores mais elevados e os valores mais baixos são registados às 12h e às 17h. A temperatura varia numa gama entre os 14°C e 20°C, apresentando um padrão aproximadamente uniforme ao longo do dia, registando apenas um ligeiro aumento ao início da manhã e diminuição ligeira no início da noite.

No dia 7 de Julho as condições de vento variam de Sudeste no período entre as 0h e as 8h e Norte para o restante período do dia. A velocidade do vento é ligeiramente superior à registada no dia anterior. As condições de temperatura e humidade relativa são semelhantes às do dia anterior. A humidade relativa começa a diminuir no período da manhã e só é registado o novo aumento com o início da noite.

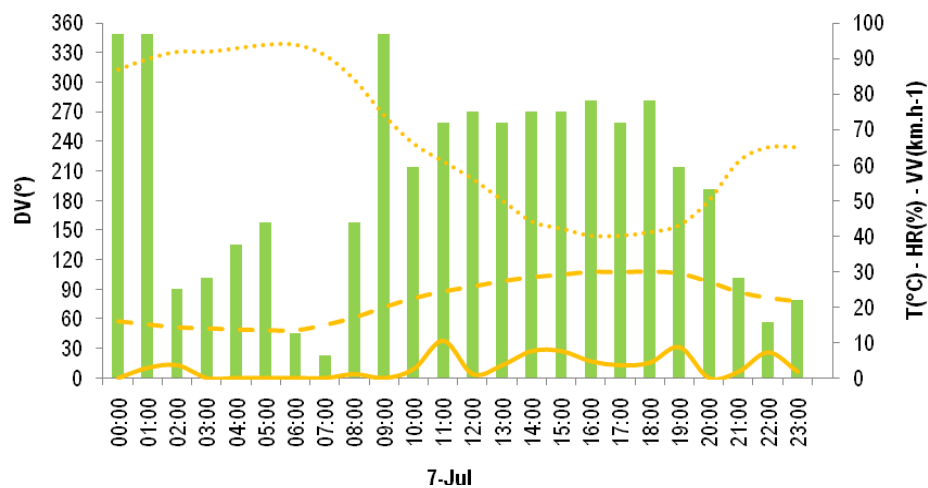
Finalmente, no dia 8 de Julho, entre o período das 5h-8h regista-se uma mudança da direcção do vento de sudeste para nordeste que é acompanhada de diminuição acentuada dos valores de humidade relativa; no restante período do dia o vento é predominantemente de Norte. Por volta das 6h regista-se um aumento da temperatura acompanhado de uma diminuição acentuada da humidade relativa. Aliás, comparativamente aos dias anteriores a humidade relativa assume valores bastantes inferiores acompanhada de um claro aumento da temperatura. Curiosamente, a velocidade do vento neste intervalo de tempo assume valores bastante baixos (entre os 2 e 4 km.h<sup>-1</sup>), assumindo para o resto do dia valores mais elevados e da mesma ordem de grandeza dos registados nos dias anteriores.

Os dados meteorológicos da estação da Barragem de Castelo Burgães apresentam-se na Figura 25.

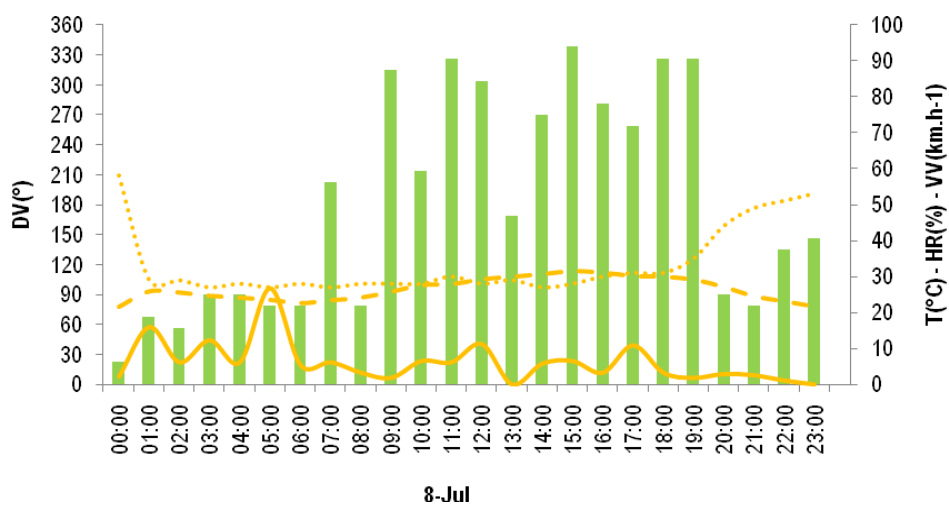




a)



b)



c)

Figura 25. Dados meteorológicos registados na estação da Barragem de Castelo Burgães para os dias a) 6 de Julho; b) 7 de Julho; e c) 8 de Julho de 2005.

No dia 6 de Julho o vento sopra de Sudeste para o período das 0h-8h, soprando no restante período de tempo de Norte. A velocidade registada é muito baixa para o período em que o vento sopra de Sudeste. Aquando da mudança do vento para a direcção Norte, regista-se o aumento da velocidade média do vento. A humidade relativa é elevada durante o período da noite, começando a diminuir às 6h, hora em que se dá o nascer do sol. A partir das 12h a humidade relativa começa novamente a aumentar. Esta evolução é acompanhada por uma variação simétrica da temperatura.

No dia 7 de Julho a direcção de vento faz-se sentir sobretudo da direcção Norte, registando o início do vento de Sudeste por volta das 2h. A velocidade do vento é baixa para o período das 0h-9h, registando a partir desta hora um ligeiro aumento da velocidade. A humidade relativa e a temperatura apresentam uma variação semelhante à apresentada no dia 6 de Julho.

No dia 8 de Julho, observam-se condições meteorológicas bastante distintas dos dias anteriores. No período das 0h-8h a velocidade do vento é claramente de Nordeste, entre as 9h-19h o vento sopra de Norte e até ao final deste dia sopra de Sudeste. Neste dia, o período onde a velocidade do vento é mais forte é precisamente no período de vento nordeste, registando-se uma diminuição progressiva ao longo do dia. Pode observar-se um pico de velocidade de vento,  $27 \text{ km.h}^{-1}$ , por volta das 5h. Para este dia registam-se valores de humidade relativa extraordinariamente baixos, embora não sejam acompanhados de um aumento significativo da temperatura. Efectivamente, a curva da temperatura apresenta um aspecto semelhante aos dos dias anteriores.

As duas estações registam um comportamento semelhante das condições meteorológicas, com diferenças pontuais influenciadas pela sua diferente localização. A estação meteorológica da UA, dada a sua localização próxima da Ria de Aveiro, apresenta valores de humidade relativa quase sempre superiores e temperatura média mais baixos, bem como valores de direcção de vento predominante de Norte. Já a estação de BCB apresenta valores de temperatura média mais elevados e humidade relativa mais baixos; a direcção de vento é mais variável, não se fazendo sentir de forma tão acentuada a componente Norte. As duas estações registam valores de humidade relativa sempre baixos durante estes dias e no dia 8 de Julho mantêm-se extraordinariamente baixos durante todo o dia. Assim, os combustíveis finos estariam secos, o que facilita a deflagração e progressão do incêndio.

Conclui-se ainda que o dia 8 de Julho é o que parece reflectir a conjugação de factores favoráveis à deflagração de um incêndio. Esta informação corrobora o relatório de incêndio. A hora de início do incêndio apontada pelo relatório de incêndio é 03h00 do dia 8 de Julho. A análise dos dados

meteorológicos conduziria para as 5h00, porque é a essa hora que a velocidade de vento sofre o maior aumento, acompanhada de um aumento da temperatura e diminuição da humidade relativa.

## 6.2. ANÁLISE ÍNDICE DE RISCO: FWI

Na Figura 26 está representada a variação anual do FWI calculado a partir de dados meteorológicos das duas estações, Universidade de Aveiro (UA) e Barragem de Castelo Burgães (BCB) e os limites referentes às classes de risco.

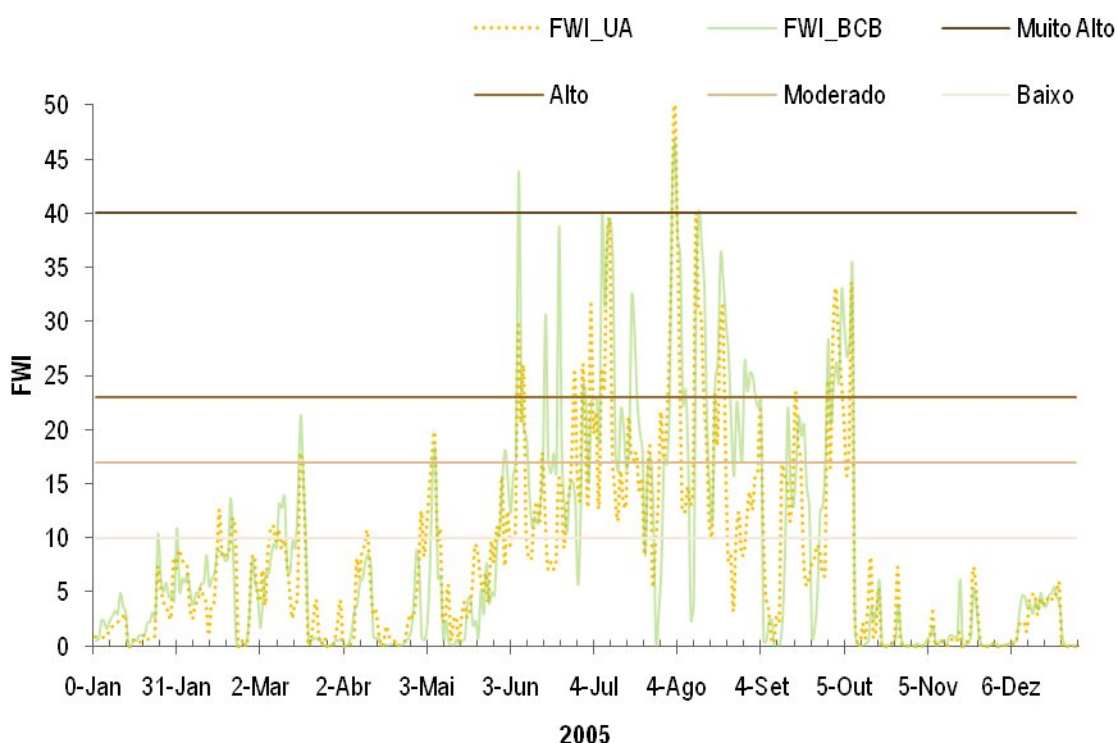


Figura 26. Variação anual do FWI (base diária) e classificação de risco.

A variação anual do FWI apresenta um padrão semelhante para as duas estações, apenas se notando discrepâncias pontuais. A estimativa do índice FWI relativo à estação de BCB é globalmente superior à estimativa da estação da UA. As variáveis que estarão a afectar este resultado deverão ser a temperatura (com valores médios superiores aos valores da UA) e a humidade relativa do ar, que na zona da estação de BCB apresenta valores mais baixos, aumentando assim a secagem dos combustíveis e consequentemente, o nível de perigosidade. Ao analisar a variação do índice FWI para o ano 2005, consegue destacar-se um período em que o risco de incêndio se encontra acima de classe de risco alto ( $FWI \geq 23$ ), que corresponde aos meses

de Junho, Julho, Agosto e Setembro. Contudo, é também importante referir a existência de dois picos fora deste intervalo de tempo, durante o qual não é habitual obter um índice de risco elevado, classificados na classe de risco moderado. Os valores registados correspondem ao mês de Março e mês de Maio, respectivamente e, podem ser explicados pela conjugação de características meteorológicas pontuais que se registaram: aumento de temperatura e diminuição da humidade relativa, associadas à direcção de vento Sudeste ( $90^\circ - 180^\circ$ , vento quente e seco) agravadas por um período de ausência de precipitação.

De forma semelhante, a análise do máximo mensal, para o mesmo ano, apresentada na Figura 27, aponta para um aumento da perigosidade durante os meses de Maio, Junho, Julho e Agosto. De salientar, que a estimativa do FWI com base nos dados meteorológicos registados na estação de BCB consegue detectar um máximo no mês de Junho, que a estimativa referente à meteorologia da UA não permite.

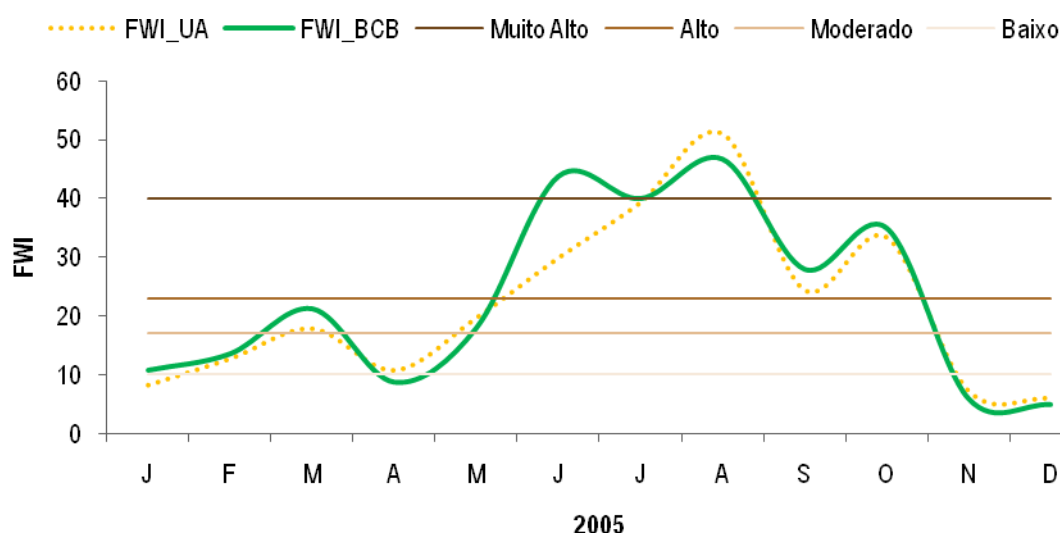


Figura 27. Máximo mensal do índice FWI para 2005.

Deve destacar-se o valor de FWI para o mês de Outubro, situado numa classe de risco alto, bem como, o pico do mês de Março numa classe de risco moderado. Assim, reforça-se a evidência de que fora da época habitual de incêndios de Verão, quando a humidade relativa baixa, associada, a uma subida de temperatura, com mudança do vento para direcção continental podem estabelecer-se condições propícias à ocorrência de incêndios, devido ao desenvolvimento de uma baixa térmica, tal como apontado por Hoinka & Castro (2003).

Na Figura 28 centra-se a análise em Julho de 2005, mostrando-se a variação diária do FWI apenas para este mês, calculado a partir de dados meteorológicas das duas estações.

Na Figura 29 apresentam-se os resultados obtidos para os sub-índices FFMCI, BUI, ISI e FWI, para o mês de Julho de 2005, para a estação meteorológica da Barragem de Castelo Burgães (BCB) e estação meteorológica da Universidade de Aveiro (UA), respectivamente.

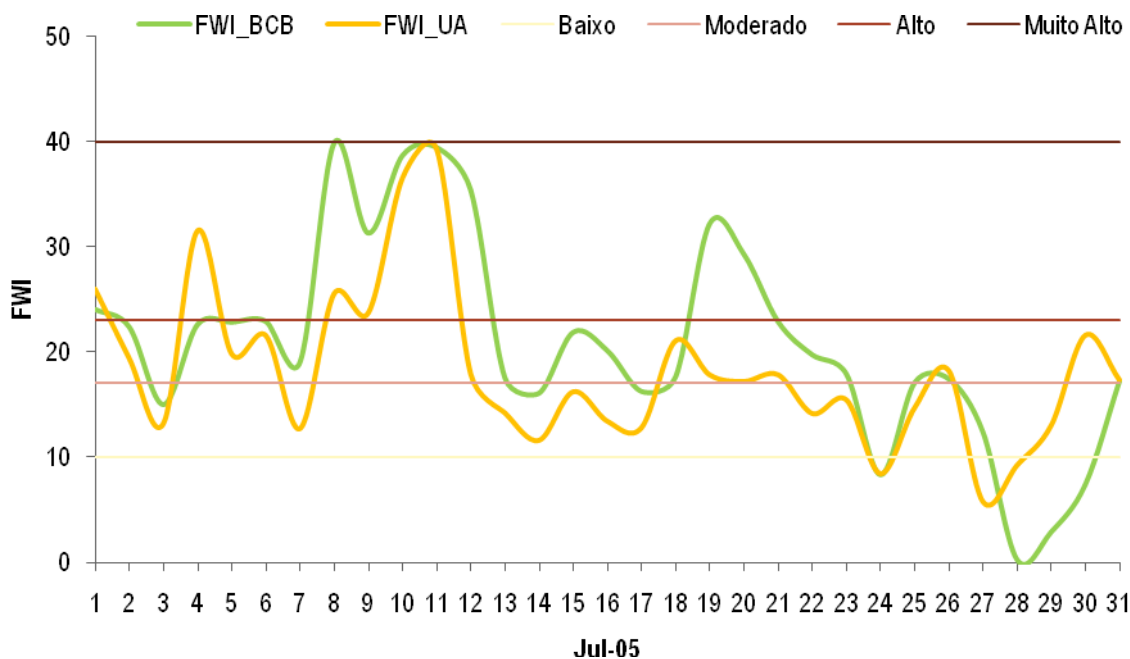


Figura 28. Variação diária do índice FWI para Julho 2005.

A análise mensal do FWI para o mês de Julho de 2005, tal como já se havia concluído, permite concluir que ambas as estações apresentam o mesmo comportamento, ainda que, de uma forma geral, à estação meteorológica de BCB estejam associados valores de índice de risco superiores aos da estação meteorológica da UA. Os valores de risco mais elevados correspondem ao período de tempo em que lavrou o incêndio. O FWI começa a subir a partir do dia 7 de Julho e manteve-se elevado até ao dia 12 de Julho, muito perto da classe de risco muito alto. Para além desses valores elevados, registaram-se 2 valores de risco alto, no dia 4 de Julho (para dados da estação UA) e para o dia 19 de Julho (para dados da estação BCB). A partir da análise da Figura 29 a), pode observar-se o pico para o sub-índice ISI para o dia 4 de Julho e, de facto, a velocidade de vento para esse dia é elevada ( $36 \text{ km.h}^{-1}$ ), o que explica este pico do FWI. Para o dia 19 de Julho, na estação meteorológica de BCB mediram-se  $30^{\circ}\text{C}$  de temperatura do ar e 35% de humidade relativa,

estas condições estão reflectidas na subida do índice FFMC na Figura 29 b) que podem justificar a subida do índice de risco.

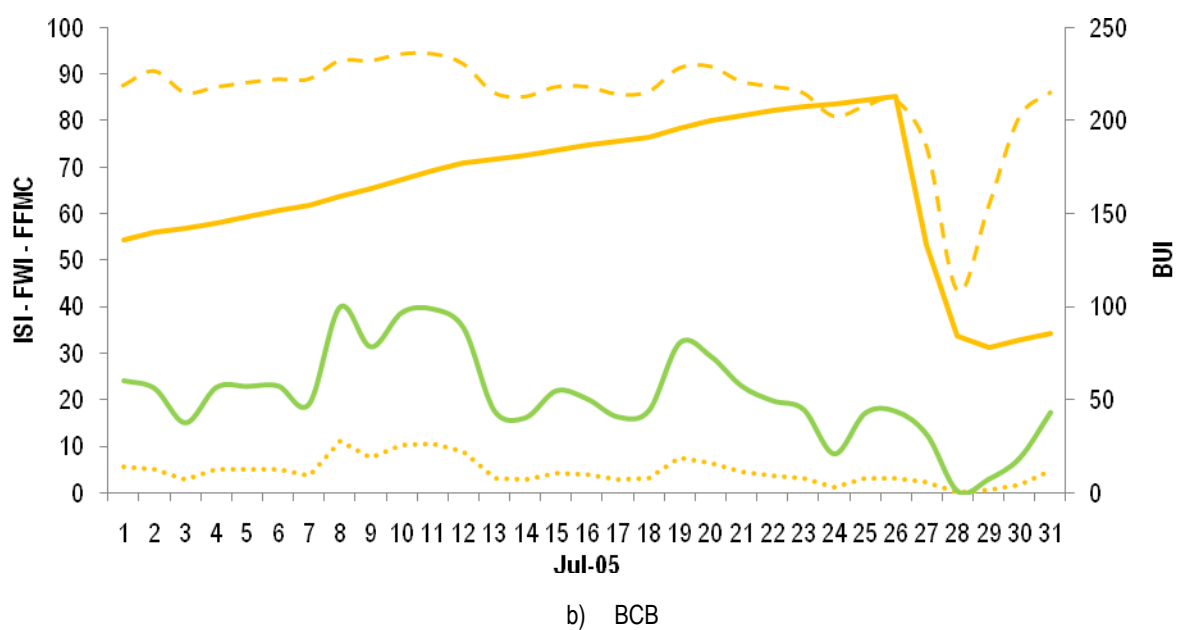
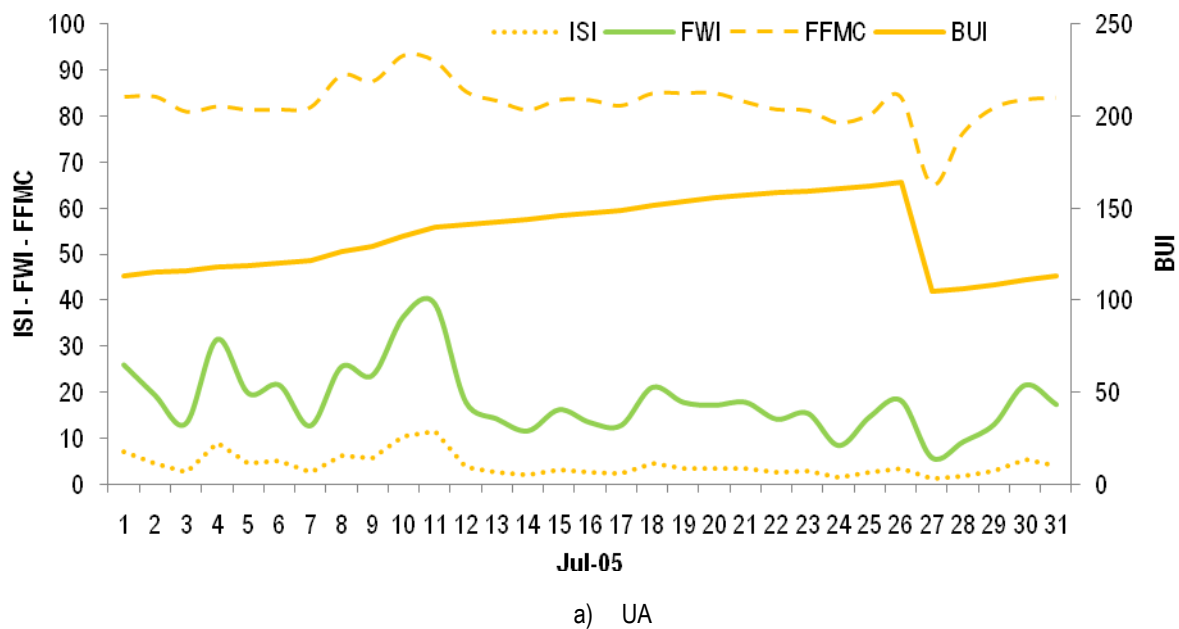


Figura 29. Variação diária para o mês de Julho de 2005 dos índices DC, FFMC e FWI e ISI para a) a estação meteorológica da UA e b) a estação meteorológica da BCB.

Da análise de ambos os gráficos conclui-se que o ISI segue o mesmo padrão que o FWI, inferindo-se que será o parâmetro que mais afecta os resultados do índice de risco. Assim, podem detectar-se para o ISI os mesmos picos detectados na análise da Figura 28 para o FWI. Da mesma forma, regista-se o aumento deste parâmetro a partir do dia 7 de Julho, mantendo-se alto até ao dia 12 de Julho, dia em que começa a descer até atingir um mínimo no dia 14 de Julho. Sendo este um parâmetro indicador da velocidade de propagação inicial do incêndio, permite concluir que entre o dia 7 e 8 de Julho existiram condições favoráveis à propagação. O índice FFMCI, apresenta uma variação temporal semelhante aos dois parâmetros analisados anteriormente.

Já o índice BUI, que representa a quantidade de combustível disponível para arder em função da quantidade de água no solo, apresenta uma variação distinta dos restantes. Esta variável sofre um aumento progressivo até ao dia 26 de Julho, dada a ausência de precipitação durante este período. No dia 27 de Julho registam-se 7 mm de precipitação o que provoca a descida acentuada deste parâmetro, que retoma o aumento a partir do dia 28 de Julho.

É interessante salientar que o BUI estimado com base em dados meteorológicos da estação da UA é globalmente inferior ao BUI estimado com dados da estação meteorológica de BCB. Assim, este facto parece indicar que a localização desta estação meteorológica se refere a um ambiente mais seco que o da estação meteorológica da UA.

### 6.3. APLICAÇÃO DO MODELO FARSITE®

Na secção anterior foi estudado o efeito das condições meteorológicas na deflagração do incêndio e capacidade de utilização do FWI para a previsão deste incêndio. Neste sub-capítulo apresenta-se a aplicação do modelo FARSITE ao incêndio de 2005, para investigar o comportamento do fogo. Na secção 6.3.1. encontra-se a definição do domínio de simulação e na secção 6.3.2. a definição dos diferentes cenários a simular e os resultados obtidos.

#### 6.3.1. DOMÍNIO DE SIMULAÇÃO

Na Figura 30 apresenta-se a localização geográfica do perímetro do incêndio de 8 de Julho de 2005, que fundamentou a definição do domínio de simulação. Na imagem estão assinaladas as freguesias do concelho de Albergaria-a-Velha limítrofes e o ponto de ignição fornecido pela AFN.



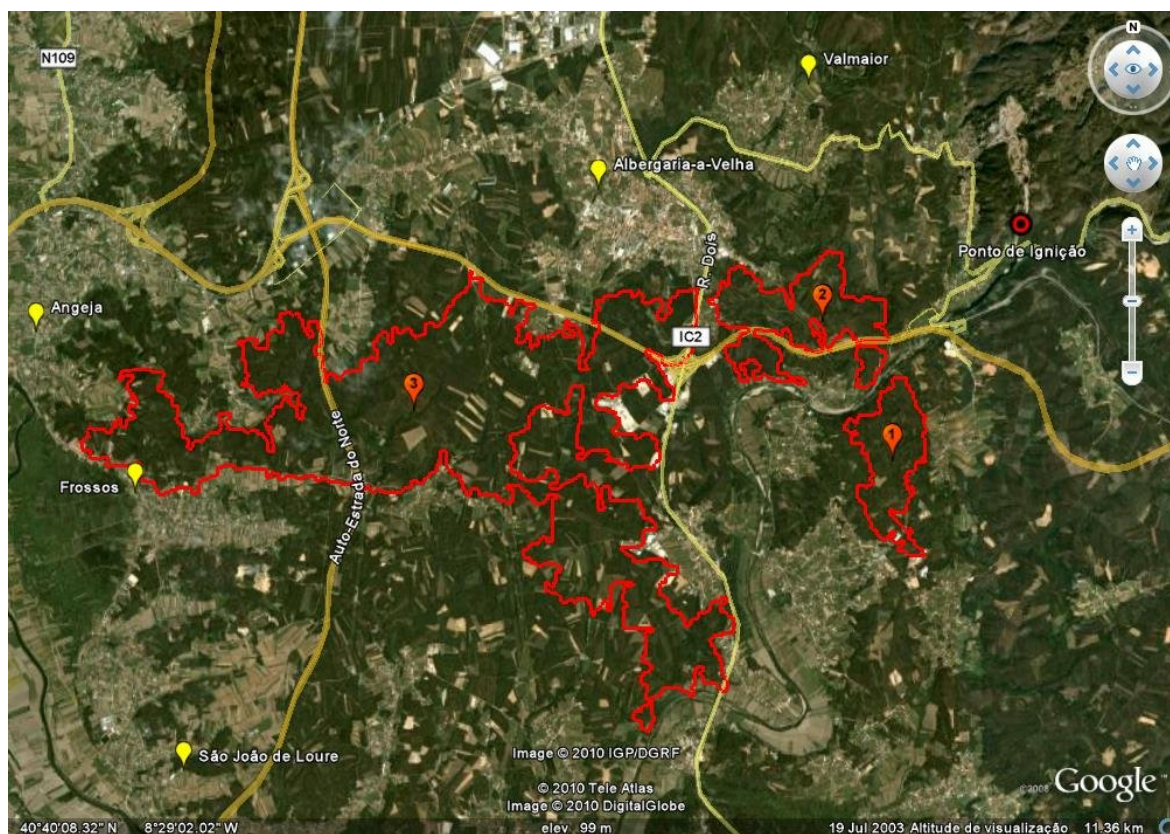


Figura 30. Localização geográfica do perímetro do incêndio.

Analisando a imagem da Figura 30 constata-se a delimitação de 3 perímetros distintos, assinalados na figura com os números 1, 2 e 3, numerados na direcção este para oeste. Na Tabela 10 apresenta-se a área aproximada associada a cada perímetro.

Tabela 10. Área aproximada dos perímetros 1, 2 e 3.

	Área aproximada (ha)
Perímetro 1	170
Perímetro 2	280
Perímetro 3	1330

A AFN assinalou que este incêndio terá consumido aproximadamente 1447 ha, sendo 100 ha classificados como matos e os restantes 1347 ha correspondentes a povoamentos, ambos privados. Tendo em conta esta informação e a informação constante na Tabela 10, os perímetros 1 e 3 são os que perfazem a área total ardida, podendo inferir-se que o incêndio de 8 de Julho será o perímetro resultante destes dois.



Ainda, segundo a informação da AFN, o ponto de ignição teria as coordenadas 174983; 413343, que se referem ao local de Açores, freguesia de Valmaior (assinalado na Figura 30 com o círculo vermelho). Contudo, esta sinalização não recorre a material de localização geográfica, como o GPS. Efectivamente, a localização do foco de incêndio, fornecida pela AFN, diz respeito ao ponto toponímico mais próximo do foco. Adicionando à margem de erro associada ao software Google Earth®, a marcação do ponto de ignição pode estar afectada de um considerável grau de incerteza. Neste caso, dado o desenho final do perímetro ardido e a localização apontada para o início do fogo, parece pertinente concluir que existe algum erro associado. Por outro lado, será também de considerar que poderá não ter sido o mesmo foco de incêndio a dar início a estas duas frentes. Sabendo ainda que a causa de origem apurada revela que a deflagração foi intencional, esta hipótese pode ser reforçada. Finalmente, segundo os relatos da imprensa (anexo C) e das declarações efectuadas pelo Comandante da Corporação, nesses recortes o fogo terá tido dois pontos de origem a nascente, junto ao IP5 (actual A25).

Finalmente, para construção do domínio de aplicação representado na Figura 30 foi necessário construir ficheiros com a topografia do terreno e modelo de combustível associada a cada área. Os ficheiros de elevação do terreno são obtidos através de uma carta de altimetria [URL 7] e a partir das funcionalidades slope e aspect do ArcGIS®, podem construir-se os ficheiros declive e exposição aplicados ao domínio de simulação definido (Anexo C). A obtenção dos ficheiros do modelo de combustível e cobertura vegetal começa por acrescentar à tabela de atribuições referentes ao mapa de uso de solo Corine Land Cover 2006 (CLC) [URL 8] a correspondência ao tipo de combustível do modelo. Posteriormente, esta informação é também transformada em dois ficheiros raster, com cada um dos campos de atribuição referidos acima para o domínio de aplicação e finalmente convertidos para o formato ASCII. A Figura 31 mostra o domínio de aplicação do modelo FARSITE, com os tipos de modelo de combustível associados.



Figura 31. Domínio de aplicação e respectivos combustíveis.

## 6.3.2. SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO INCÊNDIO

As simulações foram equacionadas segundo duas abordagens distintas. Por um lado, construiu-se um cenário que pretende reproduzir o incêndio de 2005. Por outro lado, elaborou-se um cenário que pretendia avaliar formas de prevenção e combate alternativas. Este último foi construído com base em sugestões dadas pelo Comandante José Bismark dos Bombeiros de Albergaria-a-Velha. As técnicas de prevenção e combate passariam por colocar uma barreira de cedros a Este da A1 para evitar o fogo de projecção. A sul da A25 poder-se-ia ponderar a gestão do combustível através de pastoreio de modo a evitar a acumulação de combustíveis finos.

Na Tabela 11, são enumerados os cenários simulados, listando as suas principais características e objectivos.

Tabela 11. Descrição dos cenários de simulação.

Cenário	Caracterização	Objectivo
Cenário 1.	O fogo arde livremente	Cenário base.
Cenário 2.	O fogo é combatido pelos meios referidos no relatório de incêndio	Comparação com a área ardida real. Permite estabelecer eficácia dos métodos de combate futuros.
Cenário 3.	O fogo arde livremente apenas limitado por barreiras: A25 a Norte e A1 a Oeste.	Teste de meio de prevenção.
Cenário 4.	O fogo é combatido por meios terrestres e aéreos e é limitado pelas barreiras.	Teste de meio de prevenção e tática de combate.

Na Tabela 12 apresentam-se os dados de entrada e saída das simulações efectuadas pelo modelo FARSITE® para os diferentes cenários idealizados.

Tabela 12. Dados de entrada e resultados das simulações.

	Cenário 1.	Cenário 2.	Cenário 3.	Cenário 4.
Pontos de Ignição:				
1. x,y (m)			171462;412596	
2. x,y (m)			172948;410353	
Período de Simulação				
Hora de início:	3h00	3h00	3h00	3h00
Duração (h):	164	164	164	164
Barreira	Nenhuma	Nenhuma	1vertical, x: 167000 1horizontal,y: 413000	1vertical,x: 167000 1horizontal,y: 413000
Meios de Combate	Nenhum	Ataque terrestre directo; ataque aéreo	Nenhum	Ataque terrestre directo; ataque aéreo
Área Ardida (ha)	3936	2000	3018	1935

Os resultados da simulação para a área ardida foram comparados entre si, mas também com a área ardida reportada. A informação fornecida pelas duas fontes é relativamente próxima, referindo-se a AFN a uma área ardida de 1447 ha e o Relatório de Incêndio a 1600 ha.

A simulação dos diferentes cenários, forneceram estimativas de área ardida superiores à área ardida reportada (1500-1600 ha). Ainda assim, a área ardida do cenário 2 (2000 ha), que pretende representar os meios de combate usados no incêndio, não sobrestima de forma relevante a área real. Além disso, apenas com o uso de meios de combate consegue reduzir-se a área queimada em cerca de 1900 ha comparativamente ao cenário 1, onde arderam 3936 ha. A simulação do cenário 3 mostra que com apenas a utilização de meios de prevenção (barreiras) se conseguiria uma redução em cerca de 900 ha de área consumida pelo fogo. Finalmente, os melhores resultados foram obtidos quando se combinou o uso de meios de combate e prevenção, conseguindo-se uma redução da área ardida de cerca de 2000 ha.

A Figura 32 apresenta o resultado de simulação para o cenário 1, cenário de base, condicionado apenas pelas condições naturais do terreno e meteorológicas.

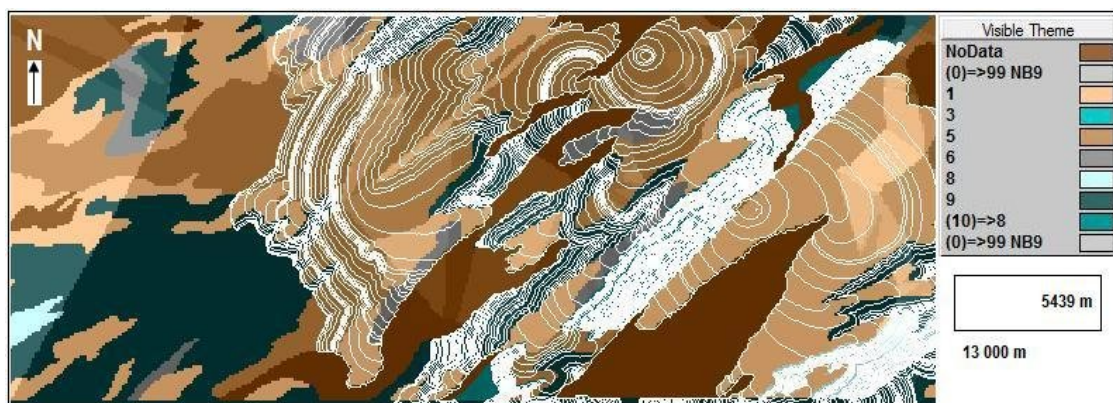


Figura 32. Resultado da simulação para o cenário 1.

As isolinhas (a branco) representam a frente de fogo para cada intervalo de tempo definido (30 minutos). A forma e direcção destas isolinhas variam em função da intensidade e velocidade máxima de propagação, como combinação do efeito de vento e topografia [Richards, 1990]. Tal como pode observar-se na Figura 32, o fogo progride de acordo com o vento predominante de Nordeste, ardendo de Este para Oeste. A progressão faz-se mais rapidamente nas zonas de pasto contínuo, fino e seco (modelo combustível 1), como seria de esperar, uma vez que os incêndios se propagam facilmente e com grande velocidade neste tipo de modelo de combustível. Por oposição, nas zonas de florestas resinosas e folhosas (modelo de combustível 8) a progressão é mais lenta

(sobreposição das isolinhas). Nas zonas de maior declive, a progressão parece fazer-se de forma lenta na vertente Sudeste em que a inclinação é contrária à direcção do vento e de forma mais rápida na vertente de inclinação favorável à direcção do vento, a Nordeste. O padrão de desenvolvimento do fogo parece ultrapassar os limites definidos pelo domínio, intuindo-se o consumo de área para além das fronteiras definidas.

Na Figura 33 apresenta-se o resultado da simulação considerando meios de combate directo e de ataque aéreo (cenário 2). A barreira colocada pretende representar a A1, apenas para facilitar a comparação em termos de espaço percorrido pelo fogo.



Figura 33. Resultado da simulação para o cenário 2.

Neste cenário, pode observar-se a redução da extensão do incêndio. O padrão não é semelhante ao desenho final do perímetro do incêndio documentado pela AFN (ver Figura 29), a extensão do incêndio é maior que a extensão estimada pelo modelo FARSITE. Contudo, a área ardida estimada é superior à área ardida reportada. Estas diferenças poderão estar relacionadas com a cartografia de modelo de combustível e com os dados meteorológicos fornecidos como dados de entrada, que podem introduzir incorrecções grosseiras e condicionar o grau de incerteza. É de salientar que os dados meteorológicos se referem a uma estação com um ambiente semelhante ao do concelho de Albergaria-a-Velha, mas podem não representar condições específicas locais que condicionam o comportamento do fogo. Por outro lado, a simulação do uso de meios de supressão podem ter provocado alterações ao comportamento do fogo distintas da realidade e, que não são perceptíveis nesta interpretação.

A Figura 34 representa o resultado da simulação com o fogo limitado apenas pelas barreiras formadas pelas duas auto-estradas (cenário 3).



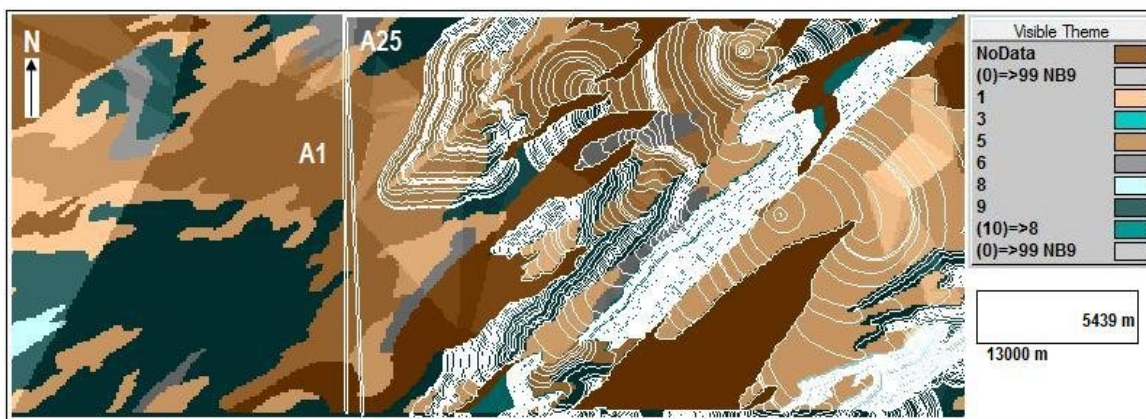


Figura 34. Resultado da simulação para o cenário 3.

O padrão de desenvolvimento da área ardida do cenário da Figura 33 é semelhante ao padrão do cenário base. No entanto apresenta uma menor extensão e, conseqüentemente, resultou numa área ardida inferior. Pode constatar-se que a utilização de barreiras condicionou a progressão do fogo, sobretudo na frente oeste. A progressão inicial do fogo apresenta um padrão semelhante ao cenário base. Com a aproximação do fogo à barreira vertical nota-se um abrandamento (isolinhas de frente de fogo muito próximas e sobrepostas).

Na Figura 35 apresenta-se o resultado da simulação para o cenário 4, com utilização de táticas de combate e das barreiras de prevenção.



Figura 35. Resultado da simulação para o cenário 4.

O resultado deste cenário apresenta um padrão de desenvolvimento da área ardida semelhante ao padrão obtido no cenário 2, o que permite inferir que os meios de combate condicionaram a progressão do incêndio. A acção dos bombeiros parece estar a ser mais efectiva do que a das barreiras, efeito mostrado pelas linhas mais escuras que cortam o perímetro do fogo.

#### 6.4. COMENTÁRIOS FINAIS

A análise dos dados meteorológicos das duas estações (Barragem de Castelo Burgães e Universidade de Aveiro) conduziu a conclusões semelhantes. A estação meteorológica de Barragem de Castelo de Burgães apresenta características que descrevem melhor as condições meteorológicas de Albergaria-a-Velha, nomeadamente, valores de humidade relativa baixos e menos influência do vento do quadrante Norte. A análise do FWI e dos factores meteorológicos conduziu a data de ignição do incêndio de 2005 para o dia 8 de Julho. Os resultados obtidos para o índice meteorológico de risco de incêndio revelam a capacidade de previsão dos incêndios cíclicos em Albergaria-a-Velha.

A simulação do comportamento do fogo devolveu estimativas distintas da informação reportada pelas diferentes fontes. A área ardida estimada pelo modelo é superior à área ardida reportada. A utilização de barreiras, como forma de prevenção da progressão da frente, parece resultar positivamente uma vez que houve redução da área ardida.

## 7. SUMÁRIO E CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou que no concelho de Albergaria-a-Velha, à semelhança do cenário em Portugal e na Europa, o número de incêndios tem vindo a aumentar nas últimas duas décadas. A dimensão dos incêndios não segue um aumento tão evidente, contudo, ciclicamente registam-se grandes incêndios que resultam em área ardida significativa, nomeadamente, nos anos 1995 e 2005.

Associado ao elevado número de ocorrências estão incêndios recorrentes, caracterizados por fogos de pequenas dimensões, geralmente de origem intencional ou accidental. Não existem fenómenos meteorológicos particulares que justifiquem a deflagração destes incêndios. São fogos localizados na interface urbano-florestal nas freguesias mais povoadas e junto a vias de comunicação estruturantes para o concelho de Albergaria-a-Velha. Daí, também, a reduzida dimensão destes incêndios, uma vez que, poderá existir rápida detecção e mais fácil acesso e combate. Da análise efectuada foi possível concluir que os incêndios recorrentes não parecem constituir risco significativo para o concelho de Albergaria-a-Velha.

Neste trabalho optou-se por agrupar as diversas ocorrências por local de ignição, tendo levado às conclusões atrás explanadas. Posteriormente, poderia ser interessante e construtivo, eleger outro critério para agrupamento das ocorrências e produzir novas análises da recorrência.

Os incêndios cíclicos de grandes dimensões aparecem associados ao registo de condições meteorológicas extremas, nomeadamente, a permanência durante vários dias de valores de temperatura do ar particularmente elevados e de humidade relativa extraordinariamente baixos, associados a ventos do quadrante Este bastante fortes. Quando se tratam de incêndios de Primavera (Março-Abril) a ausência de precipitação contribui favoravelmente para a ignição do incêndio. A ocorrência destes incêndios verificou-se ter uma frequência de 10 anos.

O índice meteorológico de risco FWI mostrou um bom desempenho na detecção dos incêndios cíclicos contudo não foi possível estabelecer-se uma relação entre o FWI e os incêndios recorrentes. No que respeita às estimativas produzidas a partir dos dados meteorológicos das duas estações utilizadas, foram registadas ligeiras diferenças condicionadas pelas características do ambiente de cada uma delas. Ainda assim, os dados das duas estações possibilitaram a previsão da ocorrência do incêndio de 8 de Julho de 2005. A ausência de dados de uma estação meteorológica em Albergaria-a-Velha levou ao uso de dados de outras estações próximas ou com características aproximadas ao ambiente meteorológico da região de estudo. O uso de dados

meteorológicos de estações que não representam adequadamente as condições meteorológicas de Albergaria-a-Velha é claramente um factor condicionante dos resultados. De salientar que a meteorologia é o factor que mais condiciona quer a ignição do incêndio quer o comportamento do fogo. Neste sentido, os Planos Municipais (Plano Municipal da Defesa da Floresta contra o Incêndio ou Plano Municipal de Emergência) poderiam contemplar a aquisição de uma estação meteorológica para o município. As autoridades locais em conjunto com a administração central e stakeholders locais, poderiam tentar viabilizar uma fórmula para a aquisição de uma estação meteorológica para os municípios com maior histórico de área ardida. A calibração do FWI ao nível do concelho poderia permitir uma melhor avaliação do risco local.

A aplicação do modelo FARSITE devolveu estimativas relativamente distintas do reportado, que deverão prender-se com incorrecções nos dados de entrada, mas também com a própria estrutura do modelo.

A classificação do uso de solo revelou-se bastante redutora, uma vez que se organiza em categorias pouco diferenciadas e desta forma condicionou a atribuição de modelos de combustível. A atribuição dos modelos de combustível a cada uso de solo de forma empírica introduz erros grosseiros na utilização do modelo FARSITE e pode explicar os resultados obtidos. Por outro lado, as propriedades de cada modelo de combustível (a carga de combustíveis, a razão volume/superfície, profundidade do leito de combustível, humidade de extinção e o calor de combustão do combustível) foram as usadas por defeito pelo modelo, não tendo sido refinadas para as características do caso de estudo.

O facto do modelo FARSITE considerar a distribuição do campo de vento como uniforme em todo o domínio, condiciona o desenho do perímetro do incêndio, contribuindo para o desajuste entre perímetro estimado e o perímetro reportado. Por outro lado, esta limitação não permite reflectir a dificuldade de combate do incêndio quando as condições de vento variam rapidamente.

O recurso a barreiras nas simulações permitiu reduzir de forma aceitável a área e perímetro ardidos. Embora, o cenário que combinava a acção destes meios com os meios de combate não tenha fornecido resultados completamente satisfatórios. Por outro lado, as barreiras construídas são de natureza física, não representando de maneira fiel as barreiras naturais que se propunham. De facto, na área de simulação o efeito das barreiras parece ser discutível. Contudo para incêndios localizados mais a Norte (acima da A25), como foi o caso do incêndio de 1995, as barreiras poderão ter um efeito de contenção mais efectivo, pelo que as estratégias de prevenção devem ser consideradas num trabalho futuro.



É importante salientar a limitação que a base de dados de incêndios constituiu, uma vez que, só possui dados discretizados até à localização por local da freguesia para um período de tempo limitado, cingindo o período de análise e as conclusões daí conducentes. Assim, a análise do cenário passado fica limitada, pelo que será necessário enriquecê-la com futuros dados estatísticos sobre incêndios florestais para consolidar esta análise e poder estabelecer um cenário futuro.

Finalmente, face aos objectivos propostos, conclui-se que os incêndios recorrentes são um fenómeno habitual no concelho de Albergaria-a-Velha, caracterizando o regime de fogo desta zona. Os incêndios cíclicos ocorrem em situações de condições meteorológicas extremas, com intervalos de recorrência muito alargados, não se enquadrando no regime de fogo para esta região, sendo o índice FWI adequado para previsão dos mesmos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFN – Autoridade Florestal Nacional (2008). Relatório de áreas ardidas e ocorrências em 2008. Defesa da Floresta. Lisboa.

AFN – Autoridade Florestal Nacional (2009). Relatório Provisório de Incêndios Florestais: Fases Alfa, Bravo, Charlie e Delta. Defesa da Floresta. Lisboa.

Anderson, H. (1982). Aids to Determining Fuel Models for Estimating Fire Behavior. General Technical Report INT-122. Ogden, UT: U.S Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.

Arca, B.; Duce, P.; Pellizzaro, G.; Laconi, M.; Salis, M.; Spano, D. (2006). Evaluation of FARSITE simulator in Mediterranean shrubland in 5<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, 27-30 November 2006. Viegas, D. (ed) ADAI, CEIF, Universidade de Coimbra.

Bugalho, L.; Café, B.; Pessanha, L.; Sanches, J.; Sousa, A.; Tavares, R. (2006). Assessment of forest fire risk in Portugal combining meteorological and vegetation information. in 5<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, 27-30 November 2006. Viegas, D. (ed) ADAI, CEIF, Universidade de Coimbra.

Burgan, R. (1988). 1988 Revisions to the 1978 National Fire-Danger Rating System. Research Paper SE-273. Macon, Georgia: U.S Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station.

Carvalho, A. (2008). Forest fires and air quality under climate change scenario (tese de doutoramento em Ciências Aplicadas ao Ambiente). Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro.

Carvalho, A., Flannigan, M., Logan, K., Miranda, A., & Borrego, C. (2008). Fire activity in Portugal and its relationship to weather and Canadian Fire Weather Index System. *International Journal of Wildland Fire*, 17, pp. 328-338.

Carvalho, A., Flannigan, M., Logan, K., Miranda, A., & Borrego, C. (2010). The impact of spatial resolution on area burned and fire occurrence projections in Portugal. *Climate Change* 98, pp.177-197.

DGRF – Direcção Geral dos Recursos Florestais (2006). Incêndios Florestais - Relatório 2005. Divisão da Defesa da Floresta contra Incêndios. Lisboa.

DGRF – Direcção Geral dos Recursos Florestais (2007). Incêndios Florestais 2006 – Relatório Final. Divisão da Defesa da Floresta contra Incêndios. Lisboa.

DGRF – Direcção Geral dos Recursos Florestais (2008). Defesa da Floresta contra Incêndios – Relatório 2007. Lisboa.

EC – European Commission (2004). Forest Fires in Europe: 2003 fire campaign. Directorate General Joint Research Centre, Directorate-General Environment. Ispra. (Itália)

EC – European Commission (2009). Forest Fires in Europe 2008. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Directorate-General Environment. Ispra. (Itália)

Ferran, A.; Trabaud, L.; Vallejo, V. (2005). Effects of fire recurrence in *Quercus coccifera* L. shrublands of the Valencia region (Spain). *Plant Ecology*, 177, pp. 57-70.

Finney, M. (1998). FARSITE: Fire Area Simulator - Model Development and Evaluation. Research Paper. RMRS- RP-4. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Gabban, A.; San-Miguel-Ayanz, J.; Viegas, D. (2008). A comparative analysis of the use of NOAA-AVHRR NDVI and FWI data for forest fire risk assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (19), pp 5677-5687.

Gabinete Técnico Florestal (2006). Plano Municipal da Defesa da Floresta Contra o Incêndio de Albergaria-a-Velha. Câmara Municipal de Albergaria-a-Velha.

Giovannini, G.; Vallejo, R.; Lucches, S.; Bautista, S.; Ciompi, S.; Llovet, J. (2001). Effects of land use and eventual fire on soil erodibility in dry Mediterranean conditions. *Forest Ecology and Management* 141, 1, pp. 15-23.

Halada, L.; Weisenpacher, P.; Glasa, J. (2006). Reconstruction of the forest fire propagation case when people were entrapped by fire. in 5<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, 27-30 November 2006. Viegas, D. (ed) ADAI, CEIF, Universidade de Coimbra.

Hoinka, K.; Castro, M. (2003). The Iberian Peninsula thermal low. *The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 129, pp.1491-1511. (Corrigendum, *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 132(2006), 1377).

Hoinka, K.; Carvalho, A.; Miranda, A. (2009). Regional-scale weather patterns and wildland fires in central Portugal. *International Journal of Wildland Fire* 18, pp. 36-49.

INE – Instituto Nacional de Estatística (2002). Censos 2001. Lisboa

Lawson, B.; Armitage, O. (2008). Weather Guide for the Canadian Forest Fire Danger Rating System. Edmonton, Alberta: Canadian Forest Service/Northern Forestry Centre.

Loureiro, C.; Fernandes, P.; Botelho, H. (2002). Optimizing prescribed burning to reduce wildfire propagation at the landscape scale. Viegas (ed.). *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*. Millpress, Rotterdam.

Loureiro, C.; Fernandes, P.; Botelho, H.; Mateus, P. (2006). A simulation-based test of a landscape fuel management project in the Marão range of northern Portugal. in 5<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, 27-30 November 2006. Viegas, D. (ed) ADAI, CEIF, Universidade de Coimbra.

Lourenço, L. (1988). Tipos de tempo correspondentes aos grandes incêndios florestais ocorridos em 1986 no Centro de Portugal. *Finisterra* XXIII, 46, pp. 251-270.

Macedo, F.; Sardinha, A. (1993). Indexação do perigo de incêndio. In *Fogos Florestais*. Lisboa: Publicações Ciência e Vida, Lda.

Miranda, A., Borrego, C., Sousa, M., Valente, J., Barbosa, P., & Carvalho, A. (2005). SPREAD, Forest Fire Prevention and Mitigation.

Nolasco, M.; Viegas, D. (2006). Effectiveness of two wildfire weather risk indexes in three zones of Spain. in 5<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, 27-30 November 2006. Viegas, D. (ed) ADAI, CEIF, Universidade de Coimbra.

Palheiro, P.; Fernandes, P.; Cruz, M. (2006). A fire behaviour-based fire danger classification for maritime pine stands: comparison of two approaches in 5<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, 27-30 November 2006. Viegas, D. (ed) ADAI, CEIF, Universidade de Coimbra.

Pausas, J. (2004a). La recurrence de incendios en el Monte Mediterráneo. *Avances en el estudio de la gestión del monte Mediterráneo* , pp. 47-64.

Pausas, J. (2004b). Changes in Fire and Climate in the Eastern Iberian Peninsula(mediterranean basin). *Climate Change* , 63, pp. 337-350.

Pausas, J., & Vallejo, V. (1999). The role of fire in European Mediterranean Ecosystems. In Chuvico(ed.), *Remote sensing of large wildfires in European Mediterranean basin*. (pp. 3-16).

Pereira, M., Trigo, R., DaCamara, C., Pereira, J., & Leite, S. (2005). Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology* , 129, pp. 11-25.

Pereira, J., Carreiras, J., Silva, J., & Vasconcelos, M. (2006). Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal. In J. Pereira, J. Pereira, F. Rego, J. Silva, & T. (. Silva, Incêndios Florestais em Portugal: caracterização, impactes e prevenção. (pp. 134-161). Lisboa: ISA Press.

Plano Municipal de Emergência do Concelho de Albergaria-a-Velha.(versão não aprovada para alteração do P.M.E em vigor). Câmara Municipal de Albergaria-a-Velha.

Ramos, C.; Ventura, J. (1992). Um índice climático de perigo de incêndio aplicado aos fogos florestais em Portugal. Finisterra , 27, pp. 79-83.

Richards, G. (1990). An elliptical growth model of forest fires fronts and its numerical solution. International Journal of Numerical Methods for Engineering, 30, pp 1163-1179.

Santos, J. (2007). Aplicação de um modelo de autómatos celulares à propagação de fogos no Parque Natural da Serra da Arrábida (dissertação de mestrado em Biologia da Conservação). Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

Scott, J.; Burgan, R. (2005). Standard Fire Behavior Fuel Models: a Comprehensive set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model. General Technical Report RMRS - GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Stephens, S. (1998). Evaluation of the effects of silvicultural and fuels treatments on potential fire behaviour in Sierra Nevada mixed conifer forests. Forest Ecology and Management, 105, pp.21-35.

Stratton, R. (2004). Assessing the effectiveness of landscape fuel treatments on fire growth and behavior. Journal of Forestry, 102 (7), pp.32-40.

Stratton, R. (2006). Guidance on Spatial Wildland Fire Analysis: Models, Tools and Techniques. General Technical Report RMRS - GTR - 183. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Centre Station.

Trigo, R., Pereira, J., Pereira, M., Mota, B., Calado, T., DaCamara, C. & Santo, F.(2006). Atmospheric conditions associated with the exceptional fire season of 2003 in Portugal. International Journal of Climatology 26, 1741-1757.

Van Wagner (1987). Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forestry Technical Report 35. Ottawa: Canadian Forestry Service.

Van Wagtendonk, J. (1996). Use of a Deterministic Fire Growth Model to Test Fuel Treatments. In Sierra Nevada Ecosystem Project: Final report to Congress, vol. II, chap. 43. Davis: University of California, Centers for Water and Wildland Resources.

Ventura, J.; Vasconcelos, J. (2006). O fogo como processo físico-químico e ecológico. . In J. Pereira, J. Pereira, F. Rego, J. Silva, & T. Silva, Incêndios Florestais em Portugal: caracterização, impactes e prevenção. (pp. 93-113). Lisboa: ISA Press.

Viegas, D. (1989). Manual sobre Incêndios Florestais. Lisboa: Secretaria-Geral do Ministério do Planeamento e da Administração do Território.

Viegas, D. (2006). Modelação do Comportamento do Fogo. In J. e. Pereira, Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e Prevenção (pp. 288-325). Lisboa: ISAPress.

Viegas, D.; Bovio, G.; Ferreira, A.; Nsenzo, A. & Sol.B. (1999). Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe. International Journal of Wildland Fire , 9 (4), pp. 235-246.

Viegas, D.; Reis, R.; Cruz, M. & Viegas, M. (2004). Calibração do Sistema Canadano de Perigo de Incêndio para aplicação em Portugal. Silva Lusitana , 12 (1), pp. 77-93.

Viegas, D.; Abrantes, T.; Palheiro, P.; Santo, F.; Viegas, M.; Silva, J. & Pessanha, L. (2006). Fire weather during 2003, 2004 and 2005 fire seasons in Portugal in 5<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, 27-30 November 2006. Viegas, D. (ed) ADAI, CEIF, Universidade de Coimbra.

Vieira, P. (2006). Portugal: o vermelho e o negro. A verdade amarga e a dolorosa realidade dos incêndios florestais. (1ª edição) . Lisboa: Dom Quixote.

Zedler, P.; Rego, F. (2006). Regimes de Fogo e Biodiversidade: Respostas dos Ecossistemas e Alternativas de Gestão. In J. Pereira, J. Pereira, F. Rego, J. Silva, & T. Silva, Incêndios Florestais em Portugal: caracterização, impactes e prevenção. (pp. 199-227). Lisboa: ISA Press.

Sítios consultados entre Outubro de 2009 a Junho de 2010:

URL 1: [<http://portugal.veraki.pt>]

URL 2: [<http://www.drapc.min-agricultura.pt>]

URL 3: [[www.ccdrc.pt](http://www.ccdrc.pt)]

URL 4: [[www.afn.min-agricultura.pt](http://www.afn.min-agricultura.pt)]

URL 5: [[http://torre.fis.ua.pt/data\\_stations.asp](http://torre.fis.ua.pt/data_stations.asp)]

URL 6: [<http://snirh.pt/>]

URL 7: [[www.iambiente.pt/atlas](http://www.iambiente.pt/atlas)]

URL 8: [[www.igeo.pt](http://www.igeo.pt)]



## ANEXOS

ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS DE RECORRÊNCIA

ANEXO B – GRUPOS DE RECORRÊNCIA: RELAÇÃO ENTRE O FWI E A ÁREA ARDIDA

ANEXO C – INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR PARA ANÁLISE DO INCÊNDIO CÍCLICO

ANEXO D – RECOLHA DE ARTIGOS DA COMUNICAÇÃO SOCIAL

## ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS DE RECORRÊNCIA

Tabela A.1. Recorrência Agrupadas.

Recorrência	Localização Geográfica		Data Alerta	Data Extinção	Área Ardida	Tipo de Vegetação	Dados Meteorológicos					FWI	Causa
	X	Y			(ha)		DV(°)	VV(kmh-1)	P(mm/dia)	T(°C)	HR(%)		
<b>Recorrência 1</b>													
Alquerubim	168164	405918	11-05-2006/18:10	11-05-2006/21:40	1,5	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	337	21	0	17	82	1	
Pinheiro	166423	405561	31-08-2005/13:05	31-08-2005/20:00	3,0	Culturas temporárias de sequeiro	310	6	0	22	69	12	
Paus	168164	405918	03-07-2004/23:00	04-07-2004/02:30	2,0	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	357	17	0	19	74	15	
Alquerubim	168164	405918	24-08-2003/18:20	24-08-2003/22:45	1,5	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais							
<b>Recorrência 2</b>													
Paus	170042	407403	06-08-2006/1:35	06-08-2006/12:30	3,0	Culturas temporárias de Sequeiro	41	5	0	18	79	3	Indeterminada-6
Paus \ POVI	170000	407500	09-02-2001/14:40	09-02-2001/18:00	3,5	Culturas temporárias de sequeiro	128	13	6	11	90	0	
Paus	170000	407500	14-08-2001/22:53	15-08-2001/00:20	1,5	Culturas temporárias de Sequeiro	274	14	0	20	74	30	
Paus	170000	407500	09-09-2001/15:30	09-09-2001/16:55	1,0	Culturas temporárias de sequeiro	290	11	0	24	63	1	
<b>Recorrência 3</b>													
Frias	168290	410181	12-03-2005/14:01	13-03-2005/01:00	67,0	Culturas temporárias de sequeiro	241	5	0	16	42	10	Intencional-448
Frias	168290	410181	13-08-2005/17:41	13-08-2005/20:00	1,0	Culturas temporárias de sequeiro	350	10	0	28	45	31	
Quinta da Biscaia	168290	410181	19-06-2003/6:30	19-06-2003/19:00	4,5	Culturas temporárias de sequeiro							Intencional-446
Frias	168290	410181	14-09-2003/16:22	14-09-2003/19:54	9,0	Culturas temporárias de sequeiro							Intencional-448
<b>Recorrência 4</b>													
Azenhas (Azenha)	165466	409800	18-07-2008/17:16	18-07-2008/20:15	1,0	Floresta Mistas	341	6	0	25	67	12	Indeterminada-6
Maridas	165820	410144	07-04-2005/14:02	07-04-2005/17:05	2,3	Culturas temporárias de sequeiro	297	13	0	19	75	1	Intencional-448
<b>Recorrência 5</b>													
Fontão	166306	411461	06-05-2005/12:38	07-05-2005/02:15	7,0	Floresta Mistas	124	9	0	24	28	18	Negligente-122
Fontão	166306	411461	08-05-2005/11:46	08-05-2005/15:00	1,0	Floresta Mistas	195	8	0	18	70	10	
<b>Recorrência 6</b>													
São Marcos	167553	412409	06-06-2005/4:02	06-06-2005/06:00	103,0	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	207	11	0	22	64	11	Intencional-448
São Marcos	167553	412409	29-03-2004/14:30	29-03-2004/18:00	1,0	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	313	9	0	12	66	6	
São Marcos	167553	412409	20-10-2002/4:20	20-10-2002/07:00	3,0	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	138	19	0	24	90	5	
<b>Recorrência 7</b>													
Sra. Socorro	167789	413966	22-08-2005/20:26	22-08-2005/20:46	17,0	Regadio	343	10	0	25	36	31	
Sobreiro	167914	413762	01-09-2002/06:16	01-09-2002/08:30	1,0	Tecido Urbano Descontínuo	149	11	0	29	66	19	
<b>Recorrência 8</b>													
Assilho	170274	412948	19-07-2003/17:00	19-07-2003/23:10	8,0	Florestas Abertas, Cortes e Novas Plantações							Intencional-448
Assilho	170274	412948	18-08-2003/17:53	18-08-2003/19:30	1,0	Florestas Abertas, Cortes e Novas Plantações							
<b>Recorrência 9</b>													
Albergaria-a-Velha	170710	413822	15-04-2001/15:25	15-04-2001/17:20	4,0	Tecido Urbano Descontínuo	308	28	0	14	72	16	
Albergaria-a-Velha	170710	413822	05-08-2001/13:37	05-08-2001/16:20	1,5	Tecido Urbano Descontínuo	262	76	0	19	71	5	
Albergaria-a-Velha	170710	413822	02-11-2001/1:00	02-11-2001/06:20	5,0	Tecido Urbano Descontínuo	76	26	0	18	36	6	
<b>Recorrência 10</b>													
Valmaior	172464	414789	29-09-2004/19:43	30-09-2004/00:45	2,0	Tecido Urbano Descontínuo	357	5	0	29	79	0	
Almalho	172464	414789	08-04-2003/13:54	08-04-2003/20:55	4,0	Tecido Urbano Descontínuo							
Valmaior	172464	414789	09-04-2003/17:49	09-04-2003/23:30	1,5	Tecido Urbano Descontínuo							
Sollo	172464	414789	21-05-2003/18:11	21-05-2003/21:15	2,0	Tecido Urbano Descontínuo							
Bairro do Jogo	172464	414789	23-05-2003/15:42	23-05-2003/20:45	2,2	Tecido Urbano Descontínuo							Intencional-448
Valmaior	172464	414789	24-05-2003/15:16	24-05-2003/19:30	1,0	Tecido Urbano Descontínuo							
Valmaior	172464	414789	25-06-2003/12:09	25-06-2003/16:00	1,2	Tecido Urbano Descontínuo							
Valmaior	172464	414789	26-06-2003/15:15	26-06-2003/20:30	2,0	Tecido Urbano Descontínuo							
Valmaior	172464	414789	15-09-2003/16:09	15-09-2003/19:45	1,5	Tecido Urbano Descontínuo							
<b>Recorrência 11</b>													
Mouquim	174279	414279	21-02-2005/14:51	22-02-2005/00:05	36,0	Floresta Folhosas	336	21	0	9	65	12	Acidental-211
Mouquim	174279	414279	06-09-2002/17:29	06-09-2002/23:30	4,0	Floresta Folhosas	327	10	0	18	80	13	Intencional-448
Mouquim	174200	414500	06-11-2001/00:46	06-11-2001/12:10	15,0	Floresta Folhosas	70	46	0	17	47	29	Intencional-4
<b>Recorrência 12</b>													
Carvoeiro	174983	413343	02-11-2007/22:04	03-11-2007/03:05	5,0	Floresta Mistas	188	9	0	17	48	26	
IP5 Nô de Carvoeiro	174983	413343	12-04-2004/18:05	12-04-2004/20:15	2,7	Floresta Mistas	325	10	0	14	77	4	
<b>Recorrência 13</b>													
Soutelo	167264	419583	15-04-2007/15:27	15-04-2007/23:00	4,0	Culturas temporárias de Sequeiro	332	13	0	15	90	4	
Soutelo	167264	419583	14-07-2004/7:00	14-07-2004/12:40	4,0	Culturas temporárias de Sequeiro	169	11	0	26	56	14	
<b>Recorrência 14</b>													
Vilarinho de São Roque	173777	419066	07-03-2005/10:07	08-03-2005/00:30	114,0	Tecido Urbano/sequeiro	90	18	0	11	37	11	Intencional-448
Alto da Serra	173777	419066	22-08-2005/16:40	22-08-2005/23:30	37,0	Tecido Urbano/sequeiro	335	10	0	25	36	31	Intencional-448
<b>Recorrência 15</b>													
Samuel	171986	420095	19-10-2002/22:44	20-10-2002/00:40	2,0	Floresta Folhosas	149	9	0	15	53	1	
Cardal	172500	420300	09-04-2001/16:47	09-04-2001/19:03	1,5	Floresta Folhosas	315	14	0	15	76	4	
<b>Recorrência 16</b>													
Telhada	173269	422169	10-07-2004/15:40	10-07-2004/20:00	1,6	Floresta Resinosas	301	13	0	19	85	1	Negligente-122
Telhada	173600	421500	09-02-2001/5:42	09-02-2001/10:05	2,0	Sistemas culturais e parcelares complexos	124	13	6	11	90	0	
<b>Recorrência 17</b>													
Espinheira	171567	421838	09-10-2005/16:56	09-10-2005/19:45	1,5	Floresta Resinosas	184	12	0	27	32	33	
Espinheira	171567	421838	07-05-2002/13:46	07-05-2002/19:20	2,5	Floresta Resinosas	76	3	0	14	52	9	

## ANEXO B – GRUPOS DE RECORRÊNCIA: RELAÇÃO ENTRE O FWI E A ÁREA ARDIDA

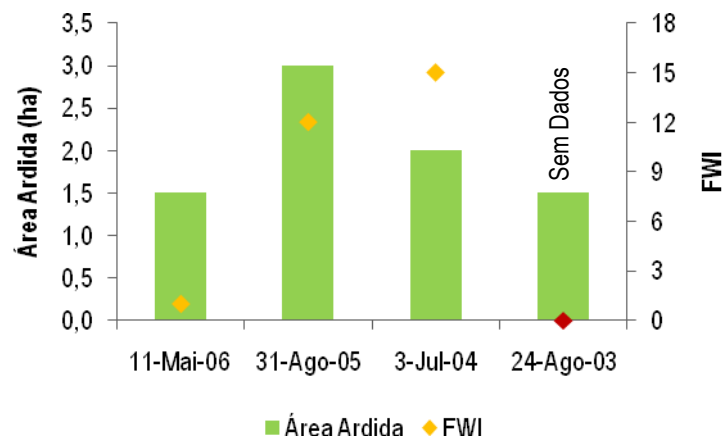


Figura B.1. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 1.

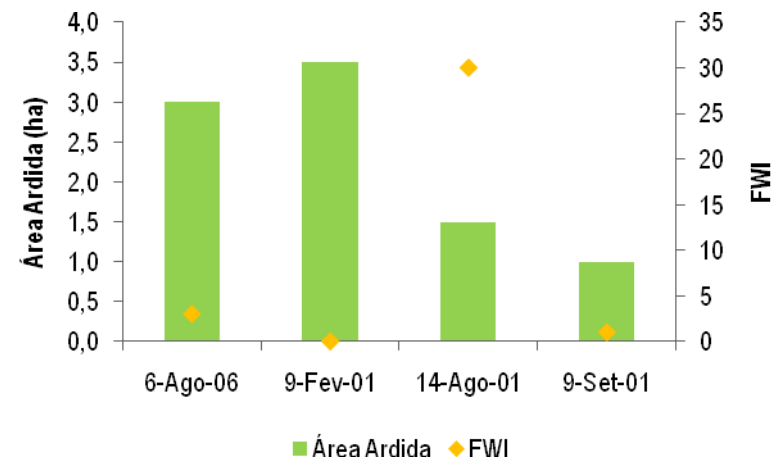


Figura B.2. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 2.

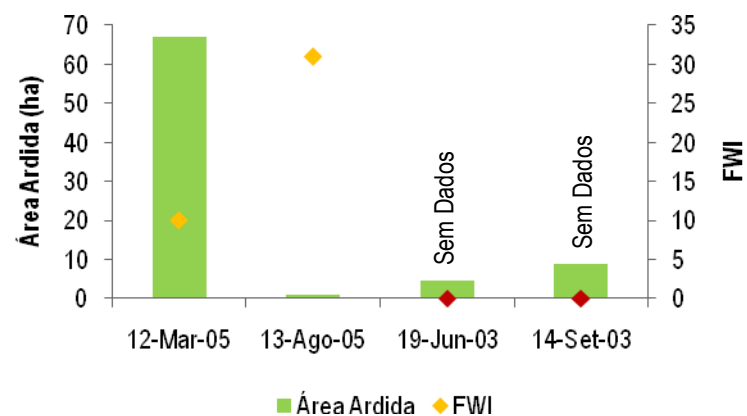


Figura B.3. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 3.

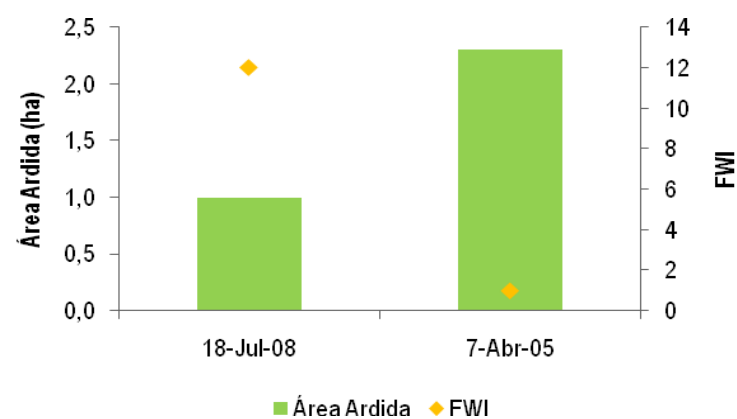


Figura B.4. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 4.

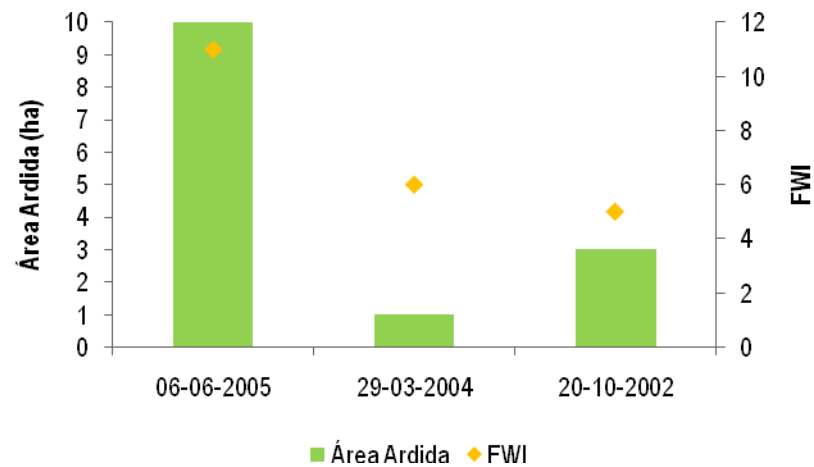


Figura B.5. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 6.

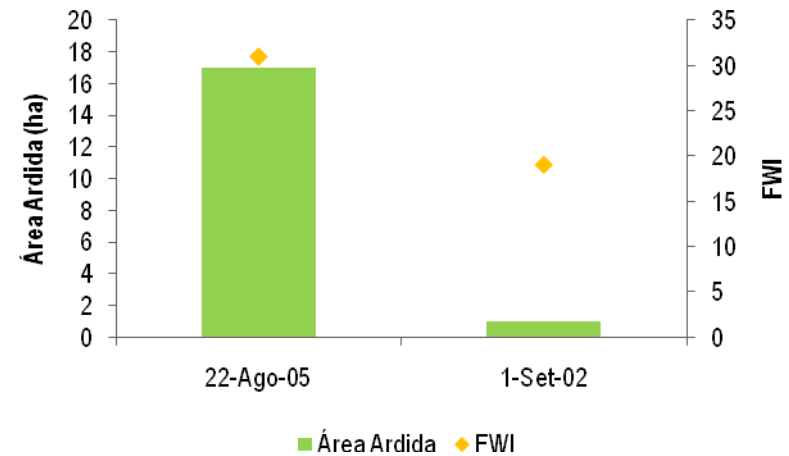


Figura B.6. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 7.

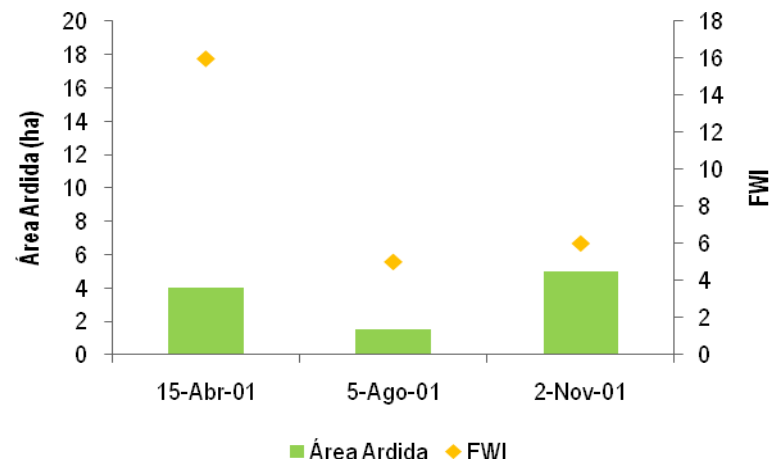


Figura B.7. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 9.

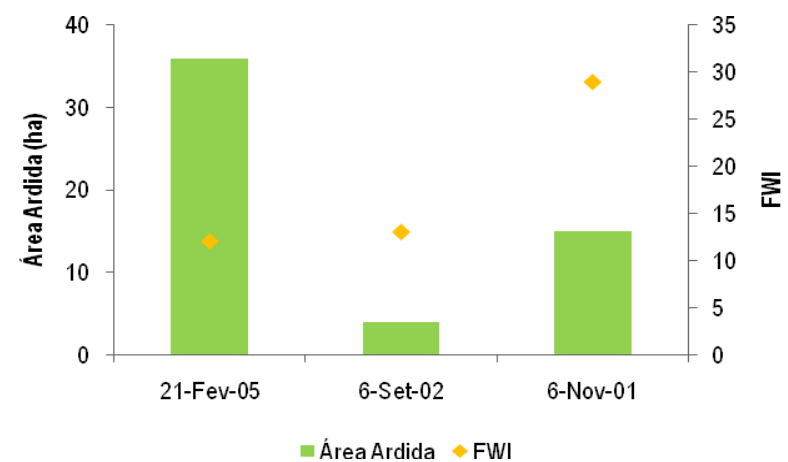


Figura B.8. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 11.

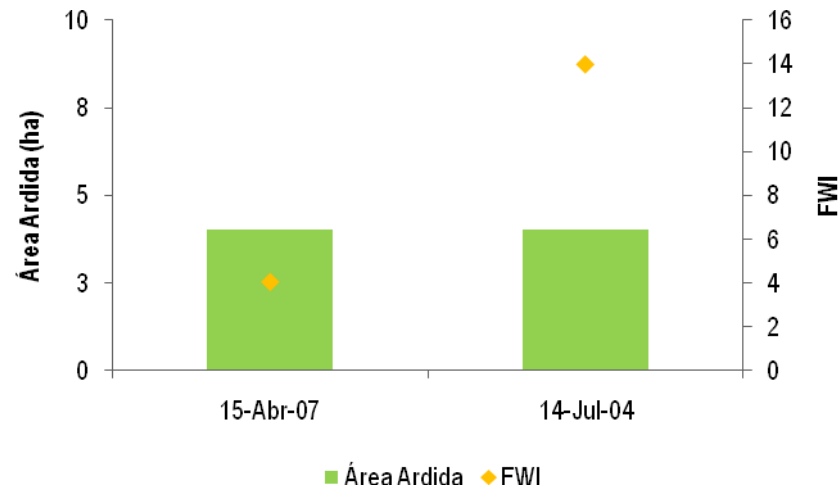


Figura B.9. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 13.

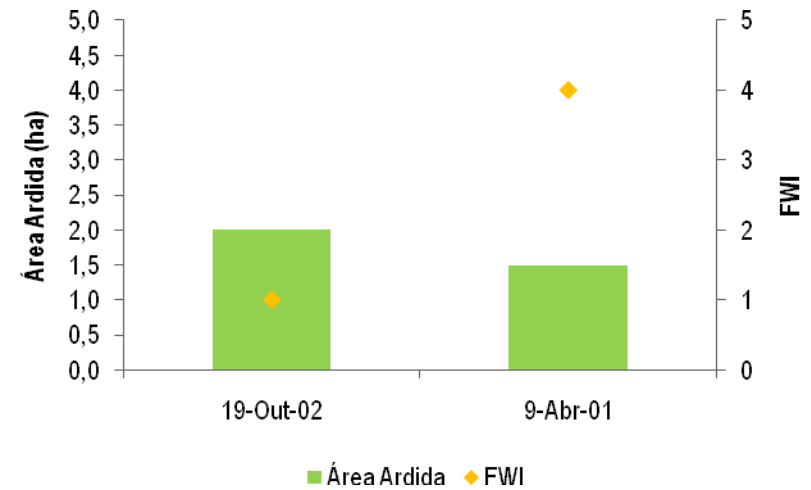


Figura B.10. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 15.

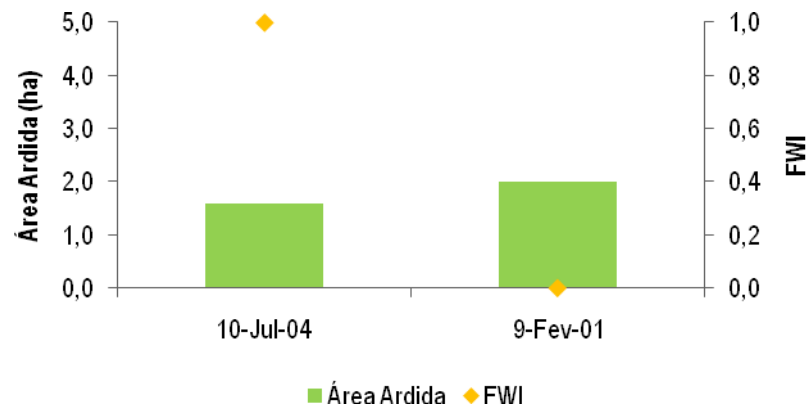


Figura B.11. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 16.

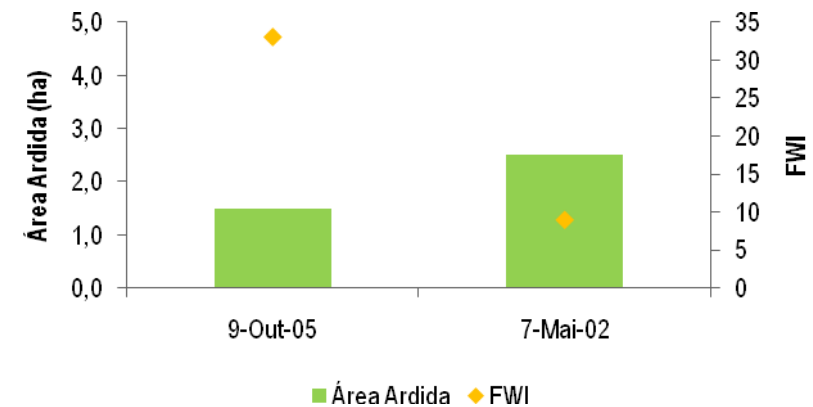


Figura B.12. Gráfico da relação área ardida e FWI para a recorrência 17.



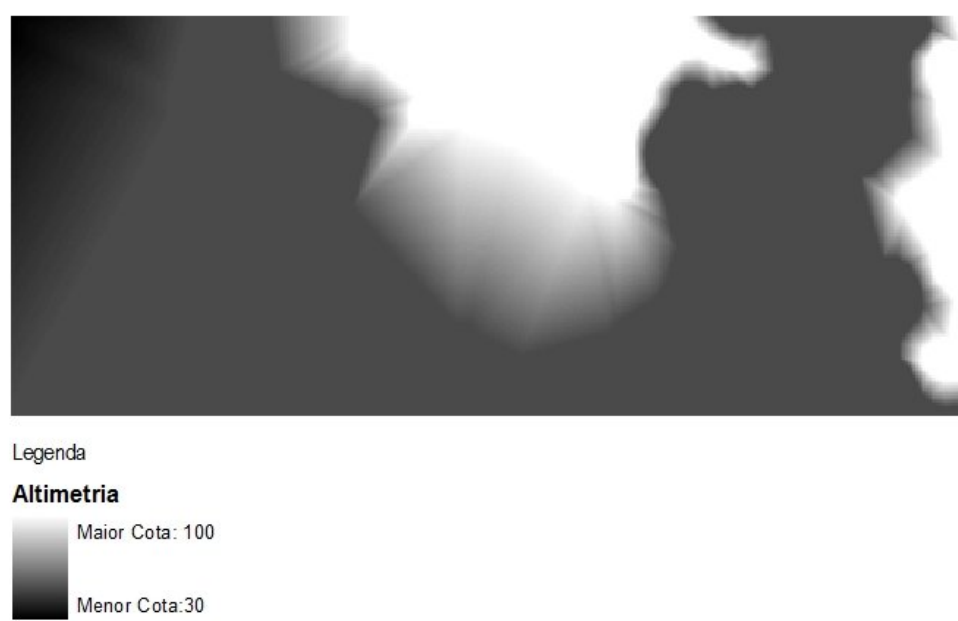
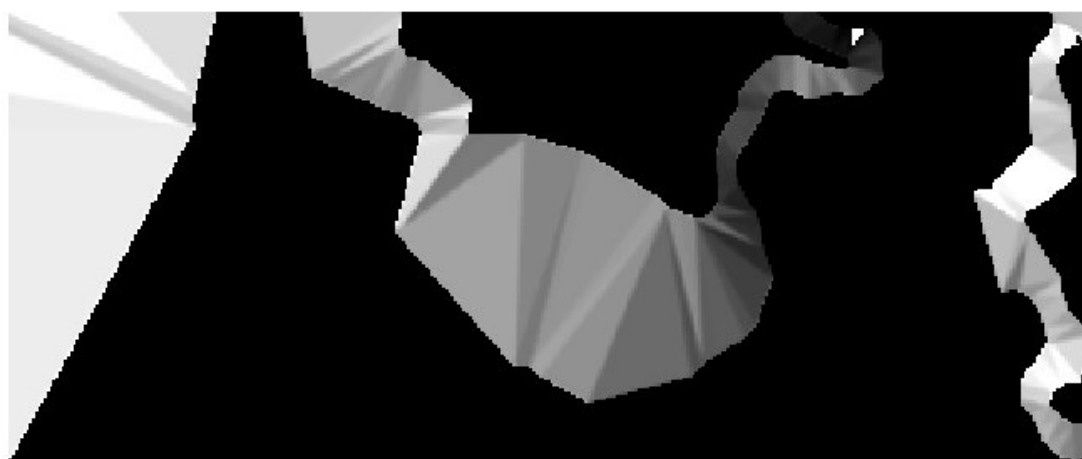


Figura C.2. Altimetria do domínio de simulação.



Figura C.3. Declive do domínio de simulação.

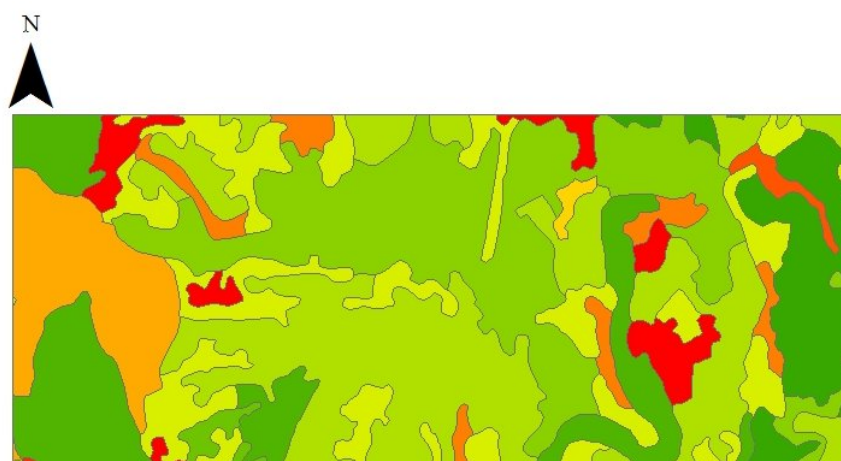


Legenda

**Exposição**



Figura C.4. Exposição do domínio de simulação.



Legenda

**CLC06**

<all other values>

**CODE\_06**

- Tecido urbano descontínuo
- Indústria, comércio e equipamentos gerais
- Redes viárias e ferroviárias e espaços associados
- Culturas temporárias de sequeiro
- Culturas temporárias de regadio
- Pastagens permanentes
- Culturas temporárias+pastagens
- Sistemas culturais e parcelares complexos
- Agricultura com espaços naturais e semi-naturais
- Florestas de Folhosas
- Florestas de Resinosas
- Florestas Mistas
- Florestas abertas, cortes e novas plantações

Figura C.5. Tipos de Uso de Solo existentes no domínio de simulação.



Tabela C.1. Caracterização dos modelos de combustível do FARSITE.

Parâmetro		Modelo					
Código	FM1	FM3	FM5	FM6	FM8	FM9	
Símbolo	86	88	90	100	114	115	
1h	1,660	6,750	2,240	3,360	2,530	6,550	
10h	0,000	0,000	1,120	5,600	4,190	0,920	
100h	0,000	0,000	0,000	4,480	3,360	0,340	
LH	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
LW	0,000	0,000	4,480	0,000	0,830	0,000	
SAV1h	113	48	64	56	49	81	
SAVLH	58	58	58	58	58	58	
SAVLW	48	48	48	48	48	48	
Depth	30,480	76,200	60,960	76,200	76,200	6,100	
MX	12	25	20	25	40	25	
Heat	18595	18595	18595	18595	18594	18595	
Descrição	Short grass	Tall grass	Short brush	Dormant brush	Southern Rough	Hardwood litter	

Legenda

1h Carga de combustíveis da 1h (ton.ha<sup>-1</sup>)

10h Carga de combustíveis da 10h (ton.ha<sup>-1</sup>)

100h Carga de combustíveis da 100h (ton.ha<sup>-1</sup>)

LH Carga de combustíveis vivos herbáceos (ton.ha<sup>-1</sup>)

LW Carga de combustíveis vivos lenhosos (ton.ha<sup>-1</sup>)

SAV1h Razão volume/superfície da 1h (1.cm<sup>-1</sup>)

SAVLH Razão volume/superfície de vivos herbáceos (1.cm<sup>-1</sup>)

SAVLW Razão volume/superfície de vivos lenhosos (1.cm<sup>-1</sup>)

Depth Profundidade do leito de combustível (cm)

MX Humidade de extinção (%)

Heat Calor de combustão do combustível (kJ.kg<sup>-1</sup>)

## ANEXO D – RECOLHA DE ARTIGOS DA COMUNICAÇÃO SOCIAL

**A1 reabriu ao trânsito após sete horas de corte devido a fogo**

A auto-estrada A1 (Lisboa/Porto) já reabriu ao trânsito, uma faixa em cada sentido, depois de ter estado cortada desde as 4:20 horas devido ao incêndio que lavra no concelho de Albergaria-a-Velha, distrito de Aveiro, disse fonte da Protecção Civil.

O comandante do Centro Distrital de Operações de Socorro (CDOS) de Aveiro, António Machado, disse à agência Lusa que o trânsito na A1 reabriu, uma faixa em cada sentido, cerca das 11:30 horas, depois de ter estado cortada cerca de sete horas entre os nós de Albergaria-a-Velha e Aveiro Sul. O fogo no concelho de Albergaria-a-Velha é o que mais preocupa os bombeiros em todo o território de Portugal continental, já que ameaça casas em várias povoações.

Devido a um reacendimento, a povoação de São Marcos é a que maiores preocupações dá aos bombeiros que combatem o incêndio de Albergaria-a-Velha, disse à Lusa o comandante da corporação local.

José Bismark explicou aos jornalistas que, apesar de ser um «incêndio de projecção», tipo de incêndio em que já têm morrido bombeiros, as chamas estão a ser combatidas de frente, com riscos acrescidos, para evitar a todo o custo que atinjam as casas.

O comandante dos Bombeiros Voluntários de Albergaria-a-Velha, no ponto de situação feito às 11:00 horas, considerou que o incêndio «está muito complicado» em São Marcos.

Nas localidades de Açores e do Carvoeiro os bombeiros estão em vigilância e registam-se reacendimentos, enquanto na localidade de Frossos o fogo está dominado e em Frias está «praticamente resolvido».

Apesar de se encontrar nas imediações um grupo de prevenção constituído por 30 homens e oito viaturas, quando o fogo deflagrou de madrugada, o dispositivo foi impotente para controlar o incêndio, que se propagou rapidamente devido a um fenómeno meteorológico localizado.

Uma informação dos serviços de protecção civil, atribuída ao Instituto de Meteorologia refere que de madrugada se verificou em Albergaria-a-Velha uma alta pressão localizada, devido a uma diminuição brusca de temperatura, que originou rajadas de vento nordeste.

A direcção do vento passou depois a ser de Noroeste, voltando a ser de Nordeste a meio da manhã.

Segundo José Bismark, o fogo começou às 03:11 horas com dois focos de incêndio a nascente, quase junto ao IP5 (que esteve cortado ao trânsito entre as 04:20 e as 05:45 horas, entre os nós de Sobreiro e Talhadas) e devido ao vento «fortíssimo» de nordeste, desenvolveu-se na diagonal, passou a parte urbana de Albergaria-a-Velha e está nas imediações da A1 em várias frentes.

Estão envolvidas no combate ao incêndio 22 corporações de bombeiros com 219 homens e 58 viaturas, bem como um pelotão militar.

Quanto a meios aéreos, estão envolvidos no combate às chamas três helicópteros, um deles habitualmente estacionado em Albergaria-a-Velha, outros dois provenientes de Vale de Cambra e de Santa Comba Dão e dois aviões Dromadair.

in Diário Digital, 08 de Julho de 2009

Figura D.1. Artigo do jornal “Diário Digital” in [www.bombeirosdealbergaria.pt](http://www.bombeirosdealbergaria.pt).

**Tempestade de fogo**

Foi um dia de fogo em Portugal Continental. O pior desde o começo do ano, admitem fontes da Protecção Civil contactadas pelo JN, embora só na segunda-feira seja conhecida a área ardida.

Várias centenas de incêndios distribuídos por todo o país mobilizaram, ao longo do dia, 232 bombeiros, apoiados por 336 veículos, 25 meios aéreos e quatro pelotões militares. À hora do encerramento desta edição lavravam ainda 33 fogos em seis distritos (Aveiro, Coimbra, Leiria, Porto, Viseu e Santarém). Os concelhos de Albergaria-a-Velha, Gondomar, Paredes e Baião tiveram, inclusive, de acionar os planos municipais de emergência.

Aveiro e Porto foram os distritos mais fustigados. Por causa do incêndio em Albergaria-a-Velha, a A1 esteve cortada durante sete horas, entre os nós de Albergaria-a-Velha e Aveiro Sul, tal como a A25 (IP5), das 4.25 às 5.45 horas, entre os nós do Sobreiro (Albergaria-a-Velha) e Talhadas (Sever do Vouga). Mais a Norte, o lanço da A4 entre Campo e Valongo, cortado desde as 10.30 horas, só reabriu à circulação às 15 horas.

**35 reacendimentos**

Dez anos após o último grande incêndio que destruiu grande parte da floresta de Albergaria-a-Velha, a violência das chamas voltou para consumir mais de um milhar de hectares de pinheiros, eucaliptos e mato, obrigando a uma mobilização invulgar de meios 250 bombeiros de 32 corporações, 30 militares, 67 viaturas e cinco meios aéreos. Ao início da noite havia várias frentes por controlar e o vento levava as chamas para o concelho de Águeda. Como se não chegasse, várias famílias que saíram de casa para combater o fogo viram as suas residências assaltadas. Uma dezena em S. João de Loure, Frossos e Angeja.

Tudo começou por volta das três horas da madrugada, com as labaredas a irromperem em quatro frentes Açores, Assilhô, Sernada e Carvoeiro. O vento chegou aos 120 Km/h. Os bombeiros evitaram que dezenas de habitações fossem atingidas pelo fogo, tal como várias unidades industriais, um motel e uma estação de serviço. A A1 esteve cortada até às 11.30 horas. Quatro bombeiros ficaram ligeiramente feridos.

Por volta das 13 horas, o fogo parecia controlado, mas ao longo da tarde registaram-se 35 reacendimentos. Pelas 18 horas surgiram novas frentes em Paus e Serém, no concelho de Águeda.

José Bismark, comandante dos Bombeiros de Albergaria, explicou que as chamas estavam “a ser combatidas de frente, para evitar que atinjam as casas. É como uma pega de caras, que mata muitas vezes”, explicou.

No lugar de Frias, as chamas chegaram ao armazém da Câmara, por volta das 4.30 horas. Foram combatidas, inicialmente, por funcionários da autarquia. As chamas estiveram a poucos metros de um depósito com 18 mil litros de combustível.

in Jornal de Notícias, 09 de Julho de 2005

Figura D.2. Artigo do jornal “Jornal de Noticias” in [www.bombeirosdealbergaria.pt](http://www.bombeirosdealbergaria.pt)